

**Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Design**

Tiago de Lima Oliveira

**Estudo comparativo entre materiais didáticos estáticos e dinâmicos
voltados ao ensino-aprendizagem de mecanismos de reações químicas orgânicas:
Uma abordagem do design instrucional**

Curitiba
2012

Tiago de Lima Oliveira

**Estudo comparativo entre materiais didáticos estáticos e dinâmicos
voltados ao ensino-aprendizagem de mecanismos de reações químicas orgânicas:
Uma abordagem do design instrucional**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Antônio M. Fontoura

Curitiba
2012



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Humanas Letras e Artes
Departamento de Design
Programa de Pós Graduação em Design | PPGDesign

TERMO DE APROVAÇÃO

Tiago de Lima Oliveira

" Estudo comparativo entre materiais didáticos estáticos e dinâmicos voltados ao ensino-aprendizagem de mecanismos de reações químicas orgânicas: Uma abordagem do design instrucional "

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design, Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná.

Prof^ª. Dr^ª. Marilda Aparecida Behrens
PUC/PR
Examinador externo

Prof^ª. Dr^ª. Orliney Guimarães
Universidade Federal do Paraná
Examinador interno

Prof^ª. Dr^ª. Stephania Padovani
Universidade Federal do Paraná
Presidente e examinador interno



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Humanas Letras e Artes
Departamento de Design
Programa de Pós Graduação em Design | PPGDesign

ATA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Defesa nº 47

Ata da Sessão Pública, de exame de dissertação como requisito para obtenção do grau de Mestre em Design, área de concentração em Design Gráfico e de Produto.

Aos vinte e três dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e doze, às onze horas, nas dependências do Programa de Pós-Graduação em Design – Anfiteatro 827 - do Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Design, composta pelos membros Prof^o. Dr^o. Orliney Guimarães, examinador interno, Prof^o. Dr^o. Marilda Aparecida Behrens, examinador externo e a Prof^o. Dr^o. Stephania Padovani, examinadora interna e presidente da banca examinadora, com a finalidade de julgar a dissertação do candidato Tiago de Lima Oliveira, intitulada **"Estudo comparativo entre materiais didáticos estáticos e dinâmicos voltados ao ensino-aprendizagem de mecanismos de reações químicas orgânicas: Uma abordagem do design instrucional"**, para obtenção do grau de Mestre em Design. O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pela coordenação do curso, com abertura, condução e encerramento da sessão solene de defesa feitos pela presidente Prof^o. Dr^o. Stephania Padovani. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros da banca examinadora deliberaram por unanimidade pela

() APROVAÇÃO do acadêmico.

(X) APROVAÇÃO CONDICIONADA A CORREÇÕES SOLICITADAS PELA BANCA:

Ajustes na fundamentação teórica
Acréscimo de análise de resultados
c/ base na fundamentação

habilitando-o ao título de Mestre em Design, na área de concentração em Design de Produto e Gráfico, desde que apresente a versão definitiva da dissertação conforme regimento interno do Programa e com as alterações sugeridas pela banca examinadora. Curitiba, 23 de fevereiro de 2012.

Prof^o. Dr^o. Marilda Aparecida Behrens
PUC/PR
Examinador externo

Prof^o. Dr^o. Orliney Guimarães
Universidade Federal do Paraná
Examinador interno

Prof^o. Dr^o. Stephania Padovani
Universidade Federal do Paraná
Presidente e examinador interno

Resumo

Esta pesquisa está inserida dentro do campo do Design, mais especificamente do Design Instrucional com uso de animações, fazendo contudo um aprofundamento teórico em questões e conceitos ligados à pedagogia bem como química orgânica. O objetivo principal deste trabalho foi averiguar os efeitos das diferentes modalidades de mídia (imagem estática ou animação) no aprendizado de mecanismos de reações químicas orgânicas no contexto da sala de aula.

Para atingir o objetivo proposto separou-se o projeto em dois momentos principais, um de revisão bibliográfica e outro de experimento. Este último fora separado em diversas etapas, sendo a primeira de observação dos dois grupos participantes em sala de aula, em seguida foram aplicados exercícios com os grupos, sendo um logo após a aula em questão e outro semanas depois. Por fim foi feito um questionário com os alunos e uma entrevista com o professor que ministrou a aula.

Os principais resultados levam à conclusão de que animações e imagens estáticas são igualmente eficazes no ensino de mecanismos de reações químicas, sendo que ambas as modalidades são mais eficazes para realização de tarefas à curto prazo. Descobrimos mais relevantes (que foram além das expectativas iniciais propostas no Método) foram no sentido da atenção dada pelos alunos durante a exposição a estas diferentes modalidades de mídia. Percebeu-se que alunos prestam mais atenção nas animações do que no referente estático, dado que pode ser usado pelo professor adotar uma estratégia diferenciada durante a aula para aprimorar a atenção do aluno. Ressaltando também a importância da parceria entre conhecimentos técnicos do designer com o conhecimento conceitual do professor para a confecção de materiais de apoio didáticos que sejam excelentes em ambos aspectos.

Abstract

This research is inserted in the field of Design, specifically in the animated Instructional Design field. Having a theoretical deepening in concepts related to issues such as Pedagogy as well as Organic Chemistry. The main objective was to investigate the effects of the different modalities of media (static image and animation) on the learning of organic chemical mechanisms in the classroom context.

To reach the proposed goal this project was split in two main moments, one of bibliographic research and an experiment. The experiment was separated in many stages, the first being an observation of the two investigated groups, then it was applied an exercises with the groups, one shortly after the lesson in question and one a few weeks later. Finally a questionnaire was asked for the students and an interview was made with the teacher that taught the class.

The main results draw to the conclusion that animations and static images are equally effective in the teaching of chemical mechanisms, being both modalities more effective to the realization of short-term tasks. More relevant findings (that went beyond the initial expectations method proposed in the Method) were in the sense of the attention payed by the students during the classes. It was noticed that students payed more attention when exposed to animations, this data can be used by teachers to adopt new strategies during their classes to enhance student attention. Emphasizing the importance of a partnership between the technical knowledge of the designer and the conceptual knowledge of the teacher to production of didactic material that are excellent in both aspects.

Sumário

1) Introdução	6
Contextualização e Justificativa	6
Problemática	7
Objetivo Principal	7
Objetivos secundários	8
Estrutura da dissertação	8
2) Fundamentação Teórica	9
2.1) Design Instrucional	9
2.1.1) Termos Recorrentes no Design Instrucional	12
2.2) Fundamentos do Design Instrucional	15
2.2.1) Behaviorismo	17
2.2.2) Cognitivismo	19
2.2.3) Construtivismo	25
2.2.4) Considerações sobre Behaviorismo, Cognitivismo e Construtivismo	28
2.3) Pesquisas e aplicações do Design Instrucional animado	31
2.3.1) Pesquisas realizadas no campo do Design Instrucional animado	37
Pesquisas com Animações Instrucionais - Temas Diversos	38
Pesquisas com Animações Instrucionais - Química	43
2.3.2) Conclusões e Discussões Geradas em Pesquisas de Design Instrucional	50
2.3.3 Críticas às pesquisas na linha do Design Instrucional	53
2.4) Química Orgânica Básica	54
2.4.1. Representações gráficas de elementos e compostos químicos	55
Fórmula condensada	57
Representando graficamente ligações químicas	58
Estrutura de Kekulé ou de traço	59
Fórmula de pontos	62

Fórmula de linha de ligação	63
Fórmula de cunha e cunha tracejada	65
Modelo bola e vareta	67
Nomenclatura de compostos orgânicos	71
2.4.2) Representações gráficas de reações químicas	74
2.4.3) Representações gráficas e convenções de mecanismos de reação	77
3) Método da Pesquisa	82
Definição das variáveis	82
Participantes	83
Produção das imagens	84
Produção das animações	84
Transposição da representação estática para a dinâmica	85
Etapas da pesquisa	92
Etapas 1.1 - Observação	92
Etapa 1.2 - Entrevista	93
Etapa 2.0 - Exercício	94
Etapa 3.0 - Prova	94
Etapa 4.1 - Questionário	95
Etapa 4.2 - Entrevista	95
Etapa 5 - Análise	96
4) Resultados	98
Resultado da Etapa 1.1 - Observação (Autor)	98
Resultado da Etapa 1.2 - Entrevista com Professor	99
Resultados da Etapa 2.0 - Exercício	100
Resultados da Etapa 3.0 - Prova	102
Resultados da Etapa 4.1 - Questionário com Alunos	107
Resultados da Etapa 4.2 - Entrevista com Professor	108

5) Conclusão	109
Limitações	111
Recomendações e Desdobramentos	112
Referências Bibliográficas	113
Apêndices	122

1) Introdução

Contextualização e Justificativa

O avanço da tecnologia possibilitou o desenvolvimento de poderosas formas de representar informação. Destas representações, as animações rapidamente se destacaram como material de apoio voltado ao aprendizado (KONING, 2009).

Segundo Hegarty (2004), o potencial destas representações dinâmicas aplicadas à educação é visto com otimismo por educadores, fato que ocorre sempre que surge uma nova tecnologia. Contudo, a revisão de literatura relativa a estudos comparativos entre eficácia de animações e imagens estáticas apresenta resultados divergentes e por vezes inconsistentes (LIN & ATKINSON, 2010).

Alguns resultados demonstram uma melhora no aprendizado com o uso de imagens, outros com o uso de animações e por vezes ainda uma indiferença na eficácia no aprendizado com apoio destas representações (AINSWORTH & VAN LABEKE, 2004). Portanto, como Lowe (2007) afirma, é impossível prever qual mídia é melhor para o ensino de conteúdos dinâmicos.

No campo da química orgânica nota-se que grande parte dos resultados apontam para uma melhora no aprendizado dos alunos que obtiveram auxílio de representações gráficas. Estas representações gráficas simbólicas são usadas largamente por químicos na sua comunicação (BALABAN, 1999, GRABOWSKI, 2005, OKE & ALAM, 2010), sendo usadas para representar desde simples elementos químicos até complexos mecanismos de reações.

O mecanismo de uma reação química é um evento dinâmico normalmente representado através de imagens estáticas (seja através de fórmulas estereoquímicas ou modelos moleculares virtuais). Acredita-se que animações podem ser mais eficazes que imagens estáticas na representação desses eventos. Contudo, não se deve tomar como base para esta afirmação apenas teorias. Necessita-se de dados empíricos que comprovem tal afirmação - que é justamente onde este projeto se insere.

Este trabalho busca contribuir tanto para a área do Design Instrucional com o uso de animação quanto para a área do Ensino de Química, posto que os resultados deste projeto podem vir a auxiliar professores no momento de decidir qual material de apoio didático é o mais adequado para o ensino deste conteúdo.

Problemática

Admite-se que o conhecimento em química seja formado a partir dos mundo nanoscópico (ou microscópico como alguns autores chamam), macroscópico e simbólico (JOHNSON & MAYER, 2009). Nesse sentido, o aluno de química deve ser capaz de compreender o mundo nanoscópico essencialmente a partir do simbólico.

Segundo Vermaat (2003) uma das maiores dificuldades dos alunos iniciantes em química é justamente conseguir conciliar os mundos nano, macro e simbólico. O principal fator que dificulta esta conciliação é o fato de que eventos que ocorrem a nível nanoscópico são particularmente complexos, subjetivos, e sem comparativo com qualquer coisa que o aluno já tenha visto ou sentido (GÓIS & GIORDAN, 2009).

Atualmente o professor de química tem em mãos poderosas ferramentas de visualização, dentre as quais destacam-se as animações. As animações podem vir a auxiliar os alunos a compreender melhor os eventos a nível nanoscópico, promovendo assim um conhecimento mais profundo de química.

Alem da problemática apresentada anteriormente, adicione-se o fato de que a grande maioria dos materiais de apoio (seja animações, ilustrações, etc) são feitos pelo próprio professor, o qual não possui expertise técnica na área de design da informação para desenvolver essa modalidade de material.

Diante do exposto, esta pesquisa visa investigar as seguintes questões:

- No contexto de sala de aula, a animação, como material de apoio didático, é melhor do que seu correspondente estático para explicar mecanismos de reações químicas orgânicas?
- A representação mental dinâmica do aluno que aprenda este tópico com animações é melhor do que a representação mental dinâmica formada pelo aluno exposto apenas à imagens estáticas?
- Quais as implicações desta nova forma de representação de conteúdo no âmbito pedagógico?

Objetivo Principal

O principal objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos das diferentes modalidades de mídias instrucionais (imagem estática e animação) no processo de ensino-aprendizagem de mecanismos de reações químicas orgânicas.

Objetivos secundários

Como objetivos secundários, a serem cumpridos a fim de atingir o objetivo principal temos:

- Identificar possíveis aplicações das teorias de aprendizagem no Design Instrucional;
- Caracterizar as convenções para a escrita de mecanismos de reações químicas orgânicas em mídia estática;
- Realizar a transposição de um mecanismo de reação, tipicamente representado em formato estático, em uma mídia dinâmica a ser utilizada com recurso didático;
- Identificar meios para validar a eficácia das modalidades das mídias (estática e dinâmica);
- Avaliar efeitos do uso das mídias com os envolvidos (professor e alunos do curso de graduação em química da UFPR);

Estrutura da dissertação

Este trabalho foi composto em quatro capítulos principais, cujos conteúdos são brevemente descritos a seguir:

No capítulo 2, Fundamentação Teórica, foram tratados os temas: Design da Informação - que é a grande área onde está inserido este projeto; Design Instrucional - visto aqui como uma sub-área do Design da Informação; Fundamentos Filosóficos e Teóricos do Design Instrucional - que tem por objetivo evidenciar as bases epistemológicas que norteiam tanto o Design Instrucional quanto a Pedagogia, e por fim; Química Orgânica Básica - onde foram abordados conceitos básicos da disciplina, bem como as notações e convenções das representações gráficas usadas.

No capítulo 3 foi apresentado o Método da Pesquisa, descrevendo os objetivos, técnicas de coleta de dados, amostra, etapas da pesquisa e o processo de confecção do material a ser usado.

No capítulo 4, foram apontados os Resultados obtidos nos testes detalhados no capítulo 3. Foi feita uma discussão destes dados, apontando os mais relevantes, e buscando responder algumas das questões apontadas nos objetivos.

Por fim, no capítulo 5 foram apresentadas as conclusões, recomendações e possíveis desdobramentos para futuras pesquisas.

2) Fundamentação Teórica

2.1) Design Instrucional

Pode-se dizer que o Design Instrucional está inserido dentro de um campo mais amplo chamado Design da Informação. Qualquer pessoa ao tentar organizar suas ideias para se comunicar com outra, por mais que de maneira inconsciente, está fazendo Design da Informação (SHEDROFF, 1994). Para Horn (1998), Design da Informação é a arte e a ciência de preparar informação a fim de que ela possa ser usada e compreendida por seres humanos com *eficiência* (grifo nosso) e eficácia, seja qual for a ferramenta de comunicação, podendo variar desde impressos tradicionais até produtos eletrônicos complexos.

Para Shedroff (2007), Design da Informação é uma disciplina que se preocupa com a organização e apresentação de *data*, que traduziremos como “dados”. Estes dados são informações sem significado para o ser humano, cabendo então ao designer de informação transformar estes dados insignificantes em informação com um valor e significado. Nas palavras de Passos outra definição semelhante às já citadas (PASSOS & MOURA, 2007, p.21):

O design da informação trata o conteúdo de sistemas complexos de informação no âmbito de selecionar e estruturar a organização das informações. Ele é responsável por delinear a forma na qual o usuário encontra as informações, realiza sua leitura, estabelece a relação entre seus elementos, interage com a interface e compreende esta experiência.

É possível notar uma certa semelhança entre os conceitos e preceitos de Design Gráfico e Design da Informação. Ambos se preocupam com a maneira como a informação é apresentada, contudo, enquanto o Design Gráfico (ao menos nas últimas décadas) vem dando ênfase na expressão de valores estéticos, o Design da Informação não tem estes fatores como foco, mas também não os ignora (SHEDROFF, 1994, JACOBSON, 1999).

O Design da Informação sugere que a realidade pode ser ordenada, existindo uma sequência adequada para os processos de aprendizado. Logo o Design da Informação pode ser definido como algo que descreve e ordena a realidade (DERVIN, 2003). O esquema abaixo visa sintetizar o processo da transformação de meros dados sem significado algum em informação através da interferência do Designer.

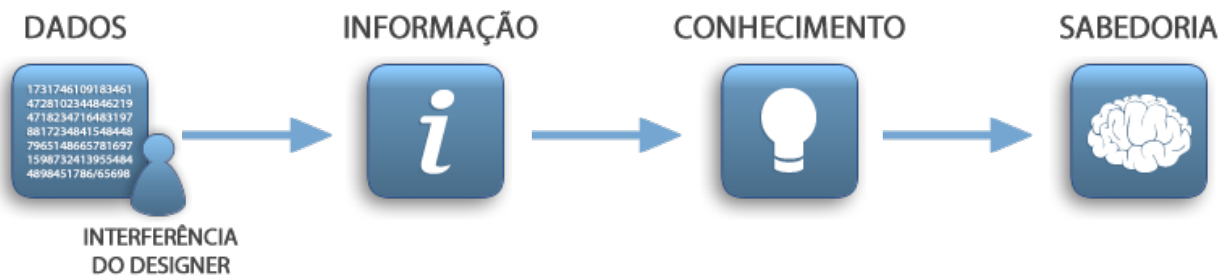


Figura 1: Esquema da transformação de dados em informação

Fonte: (WURMAN, 2005). Adaptado pelo autor.

Como se pode notar no esquema anterior, a transformação de dados em informação não é o final do processo, podendo ainda haver a partir disso a produção de conhecimento e posteriormente, um estado mais vago e íntimo do entendimento, e bem mais abstrato que os outros níveis, a sabedoria. Cooley (1987) afirma que estes dois últimos estágios são tácitos, logo não podem ser expressados através de um Design, cabendo ao indivíduo, através de seus processos internos, produzi-los. Admite-se contudo a importância da informação, ou como ela é apresentada para que este processo tenha sucesso.

Estas representações geradas pelo Designer da Informação são classificadas baseadas no sistema de codificação usado para representá-los no sistema cognitivo motor (movimentos corporais), pictográfico (imagem mental), verbal (palavras faladas), ou simbólico (nível mais elevado de codificação). As “entradas”, assim por dizer, de informação são basicamente as visuais e fonológicas (REYNOLDS & MILLER, 2003).

A relação entre os conceitos de Design da Informação e Design Instrucional é tão tênue quando os conceitos de Design Gráfico e Design da Informação. Uma das diferenças é a preocupação com a eficiência na transmissão de informação de maneira rápida, praticamente imediata do Design da Informação (JACOBSON, 1999), ao passo que o Design Instrucional se preocupa com a eficácia e não tanto com a eficiência, já que se dele levar em conta, dentre outros aspectos, o ritmo de cada aprendiz/usuário.

Assim, como praticamente todos os temas e conceitos dentro do campo do Design possuem divergências entre si, apresentar-se-á a seguir algumas definições do que alguns autores entendem por Design Instrucional selecionando uma destas definições para os fins deste projeto.

Smith (1995) antes de definir o conceito, elucida a respeito do que ele compreende sobre o termo “instrução”. Para ele instrução é a facilitação intencional do aprendizado, e possui um determinado foco. Design Instrucional seria então um processo sistemático reflexivo que consiste na tradução de teorias da aprendizagem e instrução (que acabamos de apresentar) em planos para materiais instrucionais, atividades, fonte de informação e avaliação.

Designers planejam seus projetos com base em princípios de aprendizado assim como o engenheiro planeja os seus baseado em leis da física (op. cit.). A partir deste conceito já é possível identificar outras diferenças com o Design da Informação. Sendo o Design Instrucional direcionado à aprendizagem em um sentido mais profundo e não somente informar.

Burton, em outras palavras, apresenta o mesmo conceito de Smith ao afirmar que o Design Instrucional é um processo sistemático que usa princípios das teorias do aprendizado para planejar e apresentar suas instruções, e que esta instrução deve promover o aprendizado (BURTON; MOORE *et al.*, 1996). Outra diferença entre Design Instrucional e Design da Informação pode ser notada aqui, a questão do produto. O Design Instrucional gera um produto que podemos chamar de instrução, enquanto que no Design da Informação a gama de produtos gerados é mais ampla.

Sobre este produto gerado, a instrução, ou material instrucional, Filiatro diz:

Em um nível macro, o Design Instrucional é compreendido como o planejamento do ensino-aprendizagem, incluindo atividades, estratégias, sistemas de avaliação, métodos e materiais instrucionais. Tradicionalmente, tem sido vinculado à produção de materiais didáticos, (...).
(FILATRO & PICONEZ, Abril/2004, p. 2)

Pode se dizer então que Design Instrucional pode auxiliar toda vez que alguém planeja ensinar algo à alguém (MOLEND, 1997), e o produto usado para ensinar é o material didático (ou instrução). Para Filiatro (2004) o designer instrucional dedica-se a planejar, preparar, projetar, produzir e publicar textos, imagens, gráficos, sons, movimentos, simulações, atividades e tarefas ancorados em suportes visuais. Esta definição deixa de lado as teorias de aprendizagem, diferente das definições anteriores.

Alerta-se que com a incorporação de novas tecnologias faz-se necessário uma ação sistemática do planejamento e implementação destas tecnologias dentro das estratégias didáticas e metodologias de ensino-aprendizagem (op. cit.). Mais adiante, ainda neste capítulo, trataremos com mais profundidade de instruções estáticas (imagens) e dinâmicas (animações).

De modo geral para que se construa conhecimento é necessário que o aprendiz selecione imagens e/ou sons relevantes no material didático apresentado, as organize em representações coerentes e as integre com o seu conhecimento pré-adquirido (SMITH & RAGAN, 1995). O design, a organização, e apresentação deste material são as competências do designer de instruções (SWELLER; MERRIENBOER *et al.*, 1998).

Em uma visão contemporânea, instrução é um processo sistemático onde componentes como professor, aprendiz, material e local de aprendizagem são cruciais para um aprendizado de sucesso (CAREY; CAREY *et al.*, 2001). Entendendo um sistema como sendo um conjunto técnico de partes inter-relacionados que trabalham juntos para um determinado fim.

Indo contra esta definição, para Smith a instrução deve ser boa com ou sem a presença do professor, esta figura não um papel majoritário na coordenação da instrução, logo o Design Instrucional parte da premissa que nem sempre o professor é essencial para a instrução (SMITH & RAGAN, 1995).

Em se tratando do processo, para Smith este deve levar em conta as metas da instrução e como será feita a instrução, qual suporte, e como será avaliado. Ele sugere as etapas básicas como sendo: Análise/Estratégia/Avaliação e Revisão (a Revisão deve ser feita ao final de todas as etapas), e se necessário, retomar alguma etapa (op. cit.).

Como veremos mais adiante, tem se dedicado bastantes esforços para testar e refinar procedimentos para o design de instruções. Molenda (1997) chama estes procedimentos sistematizados de “kit de ferramentas”. Observando que a grande maioria das orientações para o design de instruções são baseadas no Cognitivismo.

2.1.1) Termos Recorrentes no Design Instrucional

Apresenta-se agora uma breve distinção entre outros termos de uso recorrente neste projeto específicos do campo do Design Instrucional. Iniciando com os termos educação, treinamento, ensino e instrução.

Para Smith (1995) toda a experiência onde se aprende algo pode ser considerado como Educação, muitas vezes ocorre sem planejamento, de forma acidental ou até mesmo de maneira informal. Assim, teríamos a instrução como sendo uma forma de educação planejada.

Treinamento são experiências instrucionais onde a meta é que o indivíduo adquira habilidades ou técnicas muito específicas, e normalmente possui uma aplicação imediata. Este imediatismo é o que distingue o treinamento dos outros termos (op. cit.).

Ensino seria a experiência de aprendizado facilitado por um ser humano, em muitos casos o professor. Abaixo um diagrama que relaciona os conceitos apresentados.



Figura 2: Relação entre termos associados com instruções

Fonte: (SMITH & RAGAN, 1995, p. 3) adaptado pelo autor

Cortella apresenta o conceito de Educação e maneira diferente, fazendo uma distinção entre: Educação Vivencial & Espontânea - que seria no ditado popular o “vivendo e aprendendo”, empirista, onde viver é uma contínua situação de ensino/aprendizado; E a Educação Intencional ou Propositada, que é deliberada e organizada em locais pré determinados e com instrumentos específicos (CORTELLA, 1999).

Em comparação com o que para Smith é simplesmente de Educação, Cortella denomina de Educação Vivencial & Espontânea, e o que Smith chama de Instrução, Cortella chama de Educação Intencional ou Propositada. Para fins didáticos será adotado o conceito de Smith apesar de não se discordar da visão de Cortella.

Reigeluth et. al (2009) adicionam dois conceitos importantes, o de Conhecimento e Habilidade. Conhecimento é o tipo de informação em que a pessoa está ciente sobre, possuí-la ou não. O autor completa afirmando que duas pessoas diferentes podem ser expostas à mesma informação, podendo cada um integra-la de maneira completamente diferente.

Habilidade é a capacidade de executar um determinado tipo de tarefa, se referindo à qualidade da execução. Existem diversos tipos de habilidades como as cognitivas, psicomotoras, reativas e interativas (op. cit.). O foco deste projeto é o tipo de habilidade cognitiva, que seria a capacidade de aplicar procedimentos conhecidos na solução de problemas.

Como já mencionado, delimitou-se, também, a concepção do termo Design Instrucional como sendo uma sub-categoria do Design da Informação, sendo que ambos

estão inseridos dentro de uma grande esfera chamada Design Gráfico conforme mostra a Figura 3.

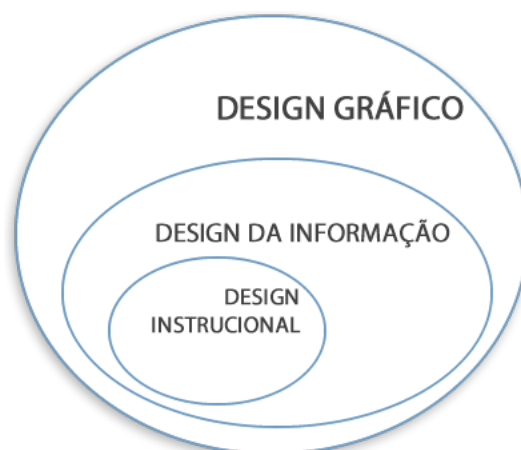


Figura 3: Localização do Design Instrucional.

Fonte: Arquivo Pessoal

Contrariando o que foi colocado anteriormente, Dervin afirma que “toda informação instrui” (DERVIN, 2003), sendo assim, tudo o que é informacional é instrucional, não havendo assim uma distinção entre estas modalidades segundo a autora. Contudo, não será feito um aprofundamento desta discussão, deixando, não obstante, para um trabalho futuro, adotando assim as definições anteriores para os fins deste trabalho.

O Design Instrucional será dividido ainda em duas vertentes, uma com foco em procedimentos e outra em conceitos. Procedimentos seriam relativos às habilidades psicomotoras, e a instrução teria como finalidade apresentar o problema em um contexto definido esperando que o aprendiz, após instruído, seja capaz de repetir a solução apresentada em um contexto semelhante. Normalmente referente às ações físicas, muito semelhante ao conceito de treinamento, no sentido da aplicação quase que imediata, não havendo necessariamente a produção de algum conhecimento complexo e relevante. Na vertente conceitual a instrução tem por objetivo promover o conhecimento em níveis mais profundos, possibilitando a transferibilidade em situações diferentes à do contexto inicial.

Esta divisão foi feita com base na Taxonomia de Bloom (*Bloom's Taxonomy*) que considera o modo em que as pessoas aprendem em três domínios (BUCKLEY & EXTON, 2003). O domínio Cognitivo referente aos processos de aprendizado e desenvolvimento de habilidades de pensamento e reflexão. O domínio Afetivo e o domínio Psicomotor que se referem à apreensão de conhecimento e a habilidade de realizar tarefas manuais (MORGAN, 1997).

Acredita-se que em função desta distinção de níveis de aprendizagem deve haver também diferentes tipos, ou focos, de instruções. Uma focada no domínio Cognitivo, que seriam as instruções de conceitos, e a instrução de procedimentos, cujos focos são os domínios Afetivo e domínio Psicomotor. O direcionamento dado aqui é portanto para instruções de conceitos e como elas afetam o domínio Cognitivo do aprendiz.

A seguir serão apresentados os principais fundamentos filosóficos e epistemológicos do Design Instrucional, sendo eles o Behaviorismo, Cognitivismo e Construtivismo.

2.2) Fundamentos do Design Instrucional

Este capítulo tem por finalidade estudar e compreender o que Molenda (1997) chama de perspectivas filosóficas e pedagógicas que embasam o Design Instrucional, bem como a Pedagogia, ou seja, os fundamentos pedagógicos, filosóficos e teóricos do Design Instrucional, pois são as teorias que dão base para o mesmo.

Acredita-se, de acordo com Bednar et. al. (1995), que o Design Instrucional deve estar fundado nas bases das teorias do conhecimento, e que só é possível se fazer uma instrução eficaz se o designer fizer uma reflexão a respeito destas bases teóricas ou no mínimo conhecê-las. Toda teoria do Design Instrucional deve ser baseada em uma teoria relativa ao que é o conhecimento e como ele é adquirido, ou seja em uma epistemologia¹ (MOLEND, 1997).

Espera-se que designers de instruções estejam familiarizados com tais fundamentos epistemológicos, cabendo a eles entender as contribuições e limitações de cada teoria (KARAGIORGI & SYMEOU, 2005), pois são estas teorias que permitem aos designers, dentre outras coisas, justificarem as decisões que tomam.

O Design como um todo está calcado em teorias provenientes da psicologia, filosofia, ciências naturais, engenharia, etc. (FRIEDMAN, 2003), o Design Instrucional em específico se apóia em pilares como as teorias da comunicação, teorias do aprendizado e teorias instrucionais (SMITH & RAGAN, 1995). A figura abaixo ilustra a relação das teorias que servem como base para o Design Instrucional.

¹ Epistemologia é estudo da natureza do conhecimento e pensamento.

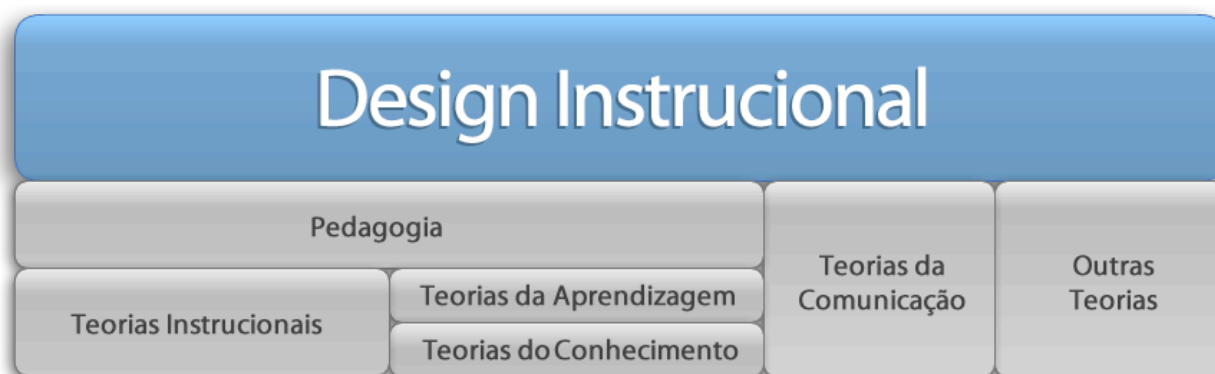


Figura 4: Relação entre teorias base do Design Instrucional

Fonte: Arquivo pessoal

Incluiu-se as diversas outras teorias que suportam o Design Instrucional com a legenda “outras teorias”, não havendo relação entre tamanho dos quadrados do esquema e importância de uma teoria em relação a outra, acredita-se apenas que as teorias mais relevantes, pelo menos para este projeto, sejam as teorias de aprendizagem e do conhecimento, posto que são elas que dão base para o Design Instrucional.

As teorias de aprendizagem em linhas gerais visam explicar quais processos ocorrem durante o aprendizado. Antes, porém, para contextualizar as teorias do conhecimento iremos tratar brevemente a respeito das teorias sobre o conhecimento, que são as raízes filosóficas das teorias da aprendizagem.

Cortella (1999) explana a respeito das teorias sobre o conhecimento:

Falamos aqui em uma “teoria sobre o conhecimento”, podemos usar, também, expressões mais técnicas que designam conteúdos tradicionais do campo de estudo da Filosofia, tais como Teoria do Conhecimento ou Gnosiologia (do grego gnosis/conhecimento) e que fazem parte do que antes era Filosofia da Ciência e, mais contemporaneamente, de uma área multidisciplinar denominada Epistemologia (do grego épistémé/ciência). (CORTELLA, 1999, p.49).

A teoria do conhecimento é uma parte da filosofia que toma como referência objetiva o pensamento na sua relação com objetos. Defrontam-se então sujeito e objeto sendo que o conhecimento aparece como uma relação ente estes dois elementos que estão eternamente separados. A função do sujeito é apreender o objeto que pode ser real (experiência) ou ideal (pensamento) (HESSEN, 2003). Hessen afirma ainda que a essência do conhecimento é algo intimamente ligada ao conceito de verdade (op. cit.). Cortella (1999) explica Hessen afirmando que quando lidamos com um conhecimento

qualquer sempre nos preocupamos em julgar se ele é válido ou correto, ou seja, qual seu valor de verdade, por isso é parte integrada de uma teoria do conhecimento.

Nos capítulos seguintes serão apresentadas as três principais teorias que vem proporcionando aos designers de instruções estratégias e técnicas para facilitar o aprendizado, sendo estas; Behaviorismo, Cognitivismo e Construtivismo (ERTMER & NEWBY, 1993). Existem claro outras teorias como a Associonista, Gestalt como lembra Reynolds (REYNOLDS & MILLER, 2003), e ainda a Semiótica e o Contextualismo citados por Mergel (1998), mas estas são as mais citadas na bibliografia e são as que parecem ter influência mais forte no Design Instrucional (SMITH & RAGAN, 1995).

Não existe uma única base teórica para o Design Instrucional que sirva para todas as suas aplicações, existem sim diversas teorias que podem auxiliar o designer no momento de tomar uma decisão. Cabe ao designer então decidir qual filosofia irá adotar, levando em conta a natureza do material a ser desenvolvido e do contexto onde este material será apresentado (DUEBEL, 2003). A grande preocupação dos designers deve ser a de “traduzir” estes princípios e teorias em especificações para confecção de materiais instrucionais (SMITH & RAGAN, 1995).

Aqui foi adotado o cognitivismo, por sua relativa facilidade de aplicação no design instrucional, e sua competência para explicar (ou tentar pelo menos) ações de usuários destes materiais instrucionais. Mas antes foi necessário conhecer as outras filosofias.

2.2.1) Behaviorismo

O Behaviorismo é a postura filosófica educacional mais simples de ser compreendida, pois os seus preceitos são elementares. A palavra *behave* do inglês significa comportamento e é justamente este o foco básico do Behaviorismo, o comportamento observável.

O Behaviorismo é considerado uma filosofia educacional Empirista ao extremo, e assim sendo, o conhecimento a respeito do mundo só é possível através da experiência (MOLEND, 1997). Para educadores que adotam esta postura só vale a pena estudar um fato se ele pode ser observado, logo, todo e qualquer processo que ocorra na mente do indivíduo que não possa ser observado é ignorado (SMITH & RAGAN, 1995). Enxerga-se a mente como uma “caixa preta”, ignorando a possibilidade de processos de pensamento e focando seus estudos apenas em comportamentos que podem ser observados e mensurados (MERGEL, 1998; DUEBEL, 2003).

Parte-se do pressuposto que o comportamento humano pode ser moldado, ou como os behavioristas chamam, condicionado a partir de reforços, logo, grande preocupação é dada às associações que ocorrem entre um estímulo e uma resposta, uma vez que respostas seguidas de uma recompensa (reforço positivo) tendem a ocorrer novamente e a prática leva ao fortalecimento destas respostas. As respostas iniciais a um estímulo podem não ser adequadas, mas com repetida prática e reforços é possível “moldar” a resposta desejada (ERTMER & NEWBY, 1993).

Reforços positivos para respostas aumentam as chances de que as respostas se repitam novamente, além de se evitar uma punição, assim, contrariamente, respostas não recompensadas ou punidas tendem a não ocorrer novamente (MERGEL, 1998).

O Behaviorismo possui raízes Objetivistas uma vez que o comportamento humano depende da observação de eventos externos (Cooper, 1993). Estes comportamentos são então observados e mensurados, a *performance* do comportamento em específico é observada (DUEBEL, 2003). A justificativa é que nós, assim como qualquer animal, obedecemos a leis universais de comportamentos, e todos nossos hábitos são formados a partir de reflexos (BURTON; MOORE *et al.*, 1996).

O indivíduo aprende, segundo os behavioristas, quando a resposta adequada é dada a um determinado estímulo. A chave é o estímulo, as respostas e as associações feitas entre, (Ertmer & Newby, 1993). Burton et al.(1996) complementam afirmando que aprendizado é definido como mudança de comportamento devido a experiência, e que se deve formar associações entre o estímulo e a resposta. Jonassen (1991) completa ao afirmar que ignora-se o papel de operações mentais e que a mudança no comportamento do indivíduo pode ser modelado com reforços.

O Design Instrucional surgiu em um momento em que o paradigma behaviorista era dominante nos Estados Unidos, e muitas das suas teorias provêm da Engenharia de Sistemas (MOLEND, 1997), e até hoje é possível perceber implicações behavioristas no Design Instrucional.

Uma das principais contribuições do Behaviorismo para o Design Instrucional é o artifício ou técnica de separar logicamente o material instrucional em etapas ou atividades sequenciais que são apresentadas das mais simples às mais complexas ao aprendiz (DUEBEL, 2003), ou seja, se quebra uma tarefa em diversas sub-tarefas sendo que só se parte para uma sub-tarefa posterior se a anterior for cumprida (MERGEL, 1998). Como Baruque (2003) coloca, o professor deve expor os objetivos da instrução bem como comportamentos desejados dos alunos, o aprendizado por parte do aluno é inferido a partir do comportamento por ele elicitado, e se quebra em pequenas metas que são

arranjadas de tal forma que ajude o aluno a progredir em direção da meta estipulada . Em suma, o Design Instrucional behaviorista visa explicitar ao aprendiz as respostas que são esperadas dele a partir de um determinado estímulo, para que se possa comparar as respostas dadas com as desejadas (ERTMER & NEWBY, 1993).

Cooper (1993) critica o Behaviorismo afirmando que é uma postura reducionista e fragmentada, e que os aprendizes são passivos, tendo apenas que responder a um estímulo, como quem aperta a tecla *RETURN* do teclado, contudo, admite que aprendizes com pouca habilidade normalmente obtêm melhores *performances* com instruções fundamentadas no Behaviorismo.

2.2.2) *Cognitivismo*

Como vimos anteriormente o Behaviorismo ignora o papel da mente no processo de aprendizagem, contudo em meados dos anos 20 diversos estudiosos começaram a perceber as limitações desta teoria aplicada ao ensino, sendo este um dos principais motivos que levaram ao surgimento de um paradigma na psicologia da aprendizagem: o cognitivista. A mente agora não é mais vista como uma “caixa preta”, e não só se aceita seu papel no processo de aprendizagem como também se busca estudar suas funções e processos (JONASSEN, 1991).

O Cognitivismo, muitas vezes chamado de modelo clássico, é baseado na metáfora homem/computador, onde a mente humana funciona como um computador e o conhecimento é representado como *dados* que podem ser processados e a cognição é vista como um programa que especifica como estes *dados* serão processados. Muitos afirmam que esta teoria só foi possível com o advento do computador, contudo De La Matrie por volta do ano 1800 já explorava a idéia de que a mente humana funciona como uma máquina complexa (REYNOLDS & MILLER, 2003).

Então enquanto o Behaviorismo tinha um foco exterior (no corpo), o Cognitivismo possui um foco interno (mente) (BARUQUE & MELLO, 2003; DUEBEL, 2003), o que caracteriza de acordo com Mergel (1998) o Racionalismo. Preocupa-se com os processos por trás do comportamento, e as mudanças observadas no comportamento são usadas como indicadores para o que ocorre na mente do aprendiz, mantendo assim algumas premissas behavioristas.

A teoria cognitiva foi desenvolvida para orientar a apresentação de informação, a qual parte do pressuposto que existe uma memória de curto prazo e que esta é reduzida

e limitada, um dos primeiros estudiosos da memória de curto prazo foi George Miller em 1956 com sua teoria denominada “*Magic number seven*” - o número sete mágico - onde ele afirmava que a memória de curto prazo é capaz de processar 7 mais ou menos dois elementos de informação de cada vez, caso contrário ela é excedida (SWELLER; J. G *et al.*, 1998).

Contudo, a informação para ser aprendida deve ser guardada na memória de longo prazo, para que isto ocorra primeiro ela deve ser processada com sucesso pela memória de trabalho, nome que fora dado mais tarde à memória de curto prazo para enfatizar a porção da memória responsável pelo processamento de informação (DE JONG, 2010). A informação processada com sucesso pela memória de trabalho é arquivada na memória de longo prazo e assim é que se dá a aprendizagem (CARLSON; CHANDLER *et al.*, 2003).

O Conhecimento é descrito não mais como uma mudança no comportamento, e sim como a aquisição e reorganização de estruturas cognitivas pelo indivíduo (BARUQUE & MELO, 2003; MERGEL, 1998). Ele é então armazenado na memória de longo prazo em forma de *Schemata*, ou Esquemas. Um Esquema categoriza elementos de informação de acordo com a maneira na qual ela será usada posteriormente (SWELLER; J. G *et al.*, 1998), e são formados a medida em que se integram novos conteúdos aos já existentes na memória de longo prazo, havendo inicialmente um desequilíbrio, e ao se retomar o equilíbrio o esquema é formado (REYNOLDS & MILLER, 2003). Mergel (1998) completa afirmando que novas informações são comparadas com antigas (esquemas antigos), podendo combinar, expandir ou alterar um esquema para acomodar novas informações.

Com a prática se espera que este processamento, ou seja, a formação de esquemas torne-se automática. A grande vantagem desta automação é que não só providencia a estrutura para memória de longo prazo, mas como também permite que a informação seja processada com menos esforços na memória de trabalho já que esquemas encapsulam diversos elementos em um só (CARLSON; CHANDLER *et al.*, 2003, VAN GOG; ERICSSON *et al.*, 2005). Isso quer dizer que, se o indivíduo receber uma carga com 8 elementos de informação, e estes elementos formarem um esquema, a memória de trabalho não os interpreta como 8 elementos e sim apenas um, não importando quão extenso seja o elemento.

Retomando a questão da carga cognitiva, de Jong (2010) afirma que ela pode ser dividida em; carga intrínseca, extrínseca e germane. Carga cognitiva intrínseca é relativa à dificuldade do material em si e não pode ser alterada através de tratamentos instrucionais, pois é de certa forma inerente ao conteúdo. Este conteúdo pode ter baixa

interatividade entre elementos, sendo assim os elementos podem ser compreendidos de maneira isolada, não dependendo um do outro. O contrário seria um conteúdo com alta interatividade, neste caso é impossível compreender o conteúdo através de elementos isolados, deve-se compreender o conjunto como um todo. Conteúdos com alta interatividade possuem por natureza maior carga intrínseca.

Carga cognitiva extrínseca é a carga cognitiva imposta pela instrução, seja ela qual for. Esta carga é desnecessária para o aprendizado e pode ser alterada ou manipulada pelo design da instrução, assim, a principal meta do designer é desenvolver uma instrução que não imponha uma grande demanda de carga extrínseca sobre o aprendiz (SWELLER; J. G *et al.*, 1998).

Ao contrário do que se imagina nem todo esforço é negativo, a carga cognitiva germane reflete o esforço necessário para a construção de esquemas. O Design Instrucional, baseado na teoria cognitivista, tem como principal função então minimizar a carga cognitiva extrínseca e aumentar a germane, tendo em mente que nada pode ser feito a respeito da carga instrínseca (apesar de alguns autores como de Jong (2010) questionarem se a carga intrínseca pode ou não ser controlada ²).

Se aceita a ideia de que a memória de curto prazo é limitada e a informação fica nela retida por pouco tempo, por isso a instrução deve otimizar a capacidade da memória de trabalho (de JONG, 2010) afim de evitar uma alta demanda sobre ela, pois isso causaria uma excedência de sua capacidade, não havendo a transferência de informação para a memória de longo prazo e não promovendo o aprendizado de fato.

Uma das principais contribuições da teoria cognitiva na prática do Design é a teoria do processamento de informação, que visa explicar como ocorre a transformação de informação em conhecimento. Esta teoria é meramente hipotética e baseada na observação de eventos visíveis e geração de hipóteses a partir destes (SMITH & RAGAN, 1995). A seguir uma tentativa de ilustrar o processamento de informação, desde o momento que ela chega ao indivíduo através de seus sentidos até ser arquivada com sucesso na memória de longo prazo.

² Ver de Jong (2010).

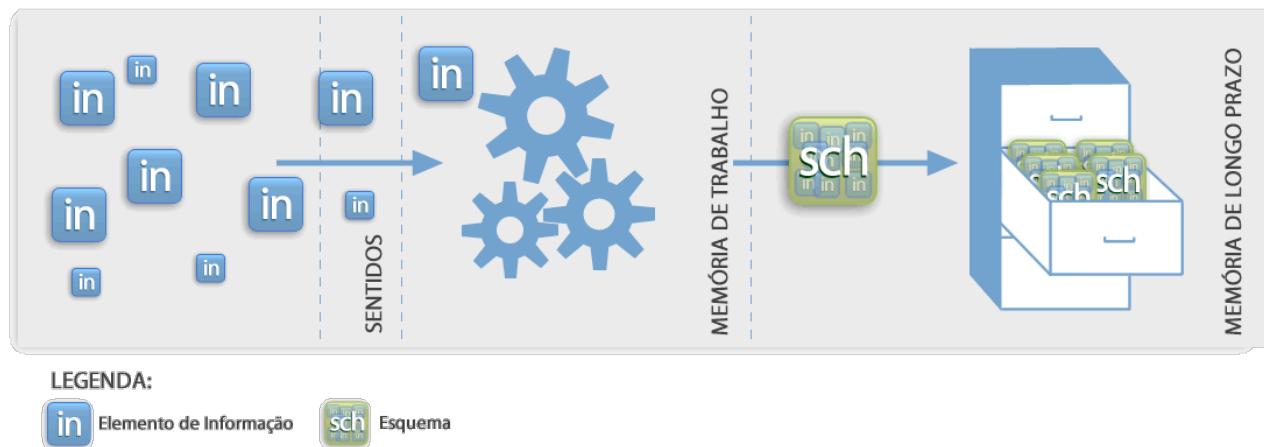


Figura 5: Processamento da informação (cognitivista)

Fonte: Arquivo pessoal

Segundo esta teoria a informação chega através dos nossos sentidos (principalmente visão e audição) e é processada na memória de trabalho. Para de Jong a memória de trabalho é dividida em duas porções, a primeira sendo visual/espacial e a segunda fonológica. Deve-se alertar neste momento que o ser humano percebe uma quantidade enorme de informações, contudo, apenas uma pequena porção recebe nossa atenção - a este acontecimento dá-se o nome de Percepção Seletiva e graças a este “filtro” não excedemos nossa capacidade de processar informação.

A informação que recebe nossa atenção passa pela estrutura da memória de trabalho e apenas parte dela é transferida para memória de longo prazo. Para que haja esta passagem, a informação deve ser significativa e deve integrar-se à conhecimentos pré adquiridos (SMITH & RAGAN, 1995) e como já mencionado, depois de passar pela memória de trabalho a informação é armazenada na memória de longo prazo em forma de Esquemas.

Semelhantes aos Esquemas, existem estruturas chamadas Modelos Mentais, a diferença é que no Modelo Mental há a adição de informações sobre tarefas demandadas e performances que devem ser utilizadas durante a solução de problemas (op. cit.), podendo o modelo mental ser tanto estáticos quanto dinâmicos.

O Modelo Mental é algo pessoal, uma representação interna do indivíduo, que pode ser exteriorizado através de desenhos. Modelos externos, como imagens e animações, ajudam na construção de modelos internos, mentais (CHENG; LOWE *et al.*, 1999), que auxiliam o aprendizado.

Para que se aprenda algo de maneira profunda deve ocorrer uma Aprendizagem Significativa que é justamente esta compreensão profunda de um material. Um indício de aprendizagem significativa é a capacidade ou habilidade de aplicar estes conhecimentos em outras situações, diferentes das em que foram apresentadas inicialmente (MAYER, 2003), que está diretamente ligada à construção de um modelo mental adequado.

Os processos que constituem a aprendizagem significativa são (de forma reduzida): (a) Prestar atenção ao material apresentado, (b) Organizar mentalmente o material em uma estrutura coerente e (c) Integrar esta informação com informação pré-adquirida (MAYER & MORENO, 2003).

O Cognitivismo é o fundamento epistemológico que mais influencia o Design Instrucional atualmente. Esta influência pode ser percebida em testes com usuários cujo intuito é descobrir o que ocorre na mente do aprendiz. Uma das técnicas mais conhecidas é o *think-aloud*, onde o aprendiz é requisitado a elicitar em voz alta o raciocínio por trás das ações que está tomando (SMITH & RAGAN, 1995).

Outros princípios importantes aplicados ao Design Instrucional são: o princípio *Dual-Channel*, ou Canal Duplo criado por Paivio em 1986 que postula que o ser humano possui sistemas diferentes para processar material pictórico e verbal, ou seja, diferentes canais para processar imagens e sons. O princípio da Capacidade Limitada afirma que cada canal (pictórico e verbal) possui uma capacidade limitada de processamento de informação, esta é a prerrogativa base do cognitivismo, cabendo ao designer desenvolver instruções que não excedam esta capacidade limitada de processamento de informação (MAYER & MORENO, 2003). A sobrecarga cognitiva ocorre quando o processamento requerido durante a aprendizagem excede a capacidade de processamento do sistema cognitivo do aluno.

Com base no Princípio *Dual* de Paivio tem-se o Princípio Multimídia de Mayer. Multimídia aqui, no sentido de duas mídias, como afirma Mayer (2005), palavras e imagens, ou o aprendizado através de palavras e imagens. As palavras podem ser tanto impressas quanto faladas, em forma de locução e as imagens podem ser estáticas ou dinâmicas (MAYER & MORENO, 2003)(REYNOLDS & MILLER, 2003)(DUEBEL, 2003) (SWELLER; MERRIENBOER *et al.*, 1998). Basicamente parte-se do pressuposto que se aprende melhor com o uso de imagens mais palavras à apenas um ou outro isoladamente (op.cit.). O Princípio da Modalidade afirma que palavras devem ser apresentadas em forma de narrações (audio) ao invés de forma visual escrita (como em textos) junto às imagens (MORENO & MAYER, 1999).

Ainda tangenciando o princípio Multimídia, o Princípio da Continuidade se refere ao aumento da eficiência do material instrucional quando palavras e imagens são apresentadas de maneira contínua. Esta continuidade pode ser tanto Espacial (palavras e imagens impressas fisicamente próximas) quanto Temporal (parte de visual e audio apresentados de maneira sincronizada e simultânea ao invés de sucessivamente).

Existem outros princípios como o Princípio da Coerência, Princípio da Redundância e Princípio da Personalização (disponíveis na obra de Mayer e Moreno, 2002), mas este trabalho se limitará apenas aos citados pois estes princípios é que vão justificar o material produzido neste trabalho.

O Design Instrucional cognitivista se preocupa em administrar a carga cognitiva demandada pela memória de trabalho a fim de facilitar as mudanças na memória de longo prazo (VAN GOG; ERICSSON *et al.*, 2005). Um dos grandes desafios segundo Baruke (2003) é relacionar a nova informação com o conhecimento pré adquirido do aprendiz. O objetivo da instrução é dar assistência para que a organização da informação seja feita de maneira eficaz. É importante que o aprendiz relacione a nova informação contida na instrução com os esquemas já existentes, pois isso permite que ele aplique este conhecimento em contextos diferentes aos que foram expostos inicialmente, a este fenômeno dá-se o nome de Transferibilidade, ou a capacidade de transferência de conhecimento (ERTMER & NEWBY, 1993).

Enquanto a instrução Behaviorista divide a meta em diversas sub-metas, na instrução cognitivista, de acordo com Duebel (2003), se constrói um quadro ao redor da tarefa na qual o aprendiz desenvolve e testa sua própria compreensão. Explicitar os objetivos como no Behaviorismo pode limitar a habilidade do aprendiz em usar estas informações em outros contextos (transferibilidade). Se espera que o aprendiz seja capaz de analisar, sintetizar, sumarizar, descrever e solucionar problemas e a motivação está intrínseca ao sentimento de sucesso. Contudo, admite-se que instruções cognitivistas são mais eficazes quando o aprendiz já possui um conhecimento prévio significativo ou alta motivação ou habilidade (DUEBEL, 2003).

Existe, assim como no Behaviorismo, uma série de críticas que podem ser feitas ao modelo cognitivista aplicado à educação ou ao Design Instrucional. Cooper (1993) afirma que a teoria cognitiva foca quase exclusivamente em processos iniciais de aprendizado, e por isso é mais voltada para aprendizes iniciantes. O autor completa dizendo que na medida em que o usuário vai se tornando um *expert* a teoria cognitiva vai se tornando menos eficaz, ou como de Jong (2010) afirma - o que é carga cognitiva gerane para um novato pode ser extrínseca para um *expert*. No mesmo raciocínio Van Gog (2005) afirma

que efeitos que facilitam o aprendizado para iniciantes podem ser considerados como redundantes para um *expert*.

Dentre outras limitações do cognitivismo está o fato do mesmo não fazer os pressupostos filosóficos necessários para se desprender das amarras do dualismo Cartesiano. A grande ênfase é na mente, mas o cognitivismo é incapaz de explicar o que ela realmente faz. Se assume na teoria do processamento da informação que existe uma sequência de atividades mentais que seja mais apropriada, e que essas atividades podem ser manipuladas externamente por um professor ou por uma instrução (JONASSEN, 1991). Jonassen ainda afirma que o processo de transmissão de conhecimento tácito assume que todos nós concordamos como que seja realidade e todos usamos essencialmente os mesmos processos para compreendê-la.

Uma última crítica será feita em relação ao inconsciente. Acredita-se que a partir do momento que se está trabalhando com a mente, e se tem tanto bases filosóficas quanto psicológicas, deve-se ao menos assimilar a existência do inconsciente, por mais que não o compreenda. Contudo, na revisão de literatura nada foi mencionado sobre o mesmo. O cognitivismo apenas leva em conta as atividades conscientes da memória de trabalho, ignorando os fenômenos que ocorram em nível do inconsciente. Deduz-se que estes fenômenos ocorram na memória de longo prazo já que a memória de trabalho é baseada em atos conscientes de seleção e processamento de informação.

2.2.3) Construtivismo

As teorias construtivistas de como o conhecimento é desenvolvido derivam principalmente dos estudos de Jean Piaget e Lev Vygotsky. O Construtivismo é oposto ao Objetivismo, no sentido de que não há realidade objetiva (JONASSEN, 1991). Nossas experiências é que definem nossa realidade, desta forma, realidade é o que o conhecedor concebe que seja. Portanto, não há uma única realidade, cada um de nós constrói a sua própria realidade com base em conhecimentos prévios, estruturas mentais e crenças (op. cit.).

Pode se confundir o Construtivismo com Solipscismo, mas há uma grande diferença entre estas teorias que é a colaboração entre aprendizes. Se encoraja a construção do conhecimento no contexto social e a colaboração, se aprende através da interação com outros e na combinação de conhecimentos para solucionar um problema (TAM, 2000). O Solipscismo por outro lado, afirma que a mente só pode conhecer suas próprias

interpretações e a realidade é completamente individualística, ou como Molenda afirma “nada existe a não ser que EU perceba”. Para os construtivistas o aprendiz é capaz de compreender uma variedade de interpretações do mundo e usa-las para construir nossa própria, para isso a mente “filtra” as informações fornecidas pelo mundo afim de fazer tais interpretações (JONASSEN, 1991).

Fala-se sobre uma “verdade por hora” pois ela pode variar dependendo da perspectiva, cultura ou contexto, sendo inapropriado portando, assumir que exista apenas uma única verdade segundo Smith (1995).

Esta filosofia educacional está inserida dentro de uma categoria filosófica mais ampla denominada Racionalismo já que a razão é a principal fonte de conhecimento e que a realidade é construída ao invés de descoberta, não havendo uma única realidade, cada indivíduo constrói a sua (op. cit.).

O conhecimento é constructo havendo uma integração com os conhecimentos pré adquiridos. Os aprendizes buscam dar sentido às informações a fim de construir o conhecimento, que é considerado aqui um processo mental que existe apenas na mente humana, não sendo mais visto como um objeto que pode ser passado de uma mente para outra, só podendo ser construído pessoalmente. Fazendo um paralelo entre Cognitivismo e Construtivismo, enquanto o primeiro vê informação e processamento o outro vê conhecimento e construção (REYNOLDS & MILLER, 2003).

Ertmer afirma que o Construtivismo pode ser considerado como um ramo do Cognitivismo, pois assim como este, se preocupa com as atividades mentais que ocorrem durante o processo de aprendizagem, a diferença é que não há transferência de conhecimento, e sim uma construção de interpretações pessoais baseadas nas experiências individuais, não havendo realidade objetiva. O autor completa ao afirmar que o conhecimento emerge em contextos em que o aprendiz julga como sendo relevante (ERTMER & NEWBY, 1993).

O Construtivismo possui algumas ramificações, ou podemos chamar de vertentes construtivistas. Tem-se o Construtivismo Radical que postula que cada realidade é única para o indivíduo (se aproxima bastante do Solipsismo), e o Construtivismo Social ou Moderado, que considera que partilhamos de uma realidade e que esta realidade comum cresce com a vivência social (KARAGIORGI & SYMEOU, 2005).

Aplicar o Construtivismo no Design Instrucional é considerado um grande desafio, uma vez que não se pode impor uma realidade prescrita aos aprendizes, pois cada um irá interpretar tal realidade de maneira diferente, ou seja, conhecimento que é transmitido

(por mais que cumpra as leis cognitivistas de boa instrução) pode não ser assimilado e transformado em conhecimento pelos aprendizes (JONASSEN, 1991).

Outras implicações do Construtivismo no Design Instrucional ocorrem no sentido da simplificação de problemas, pregado principalmente pelos Behavioristas. Para os construtivistas não se deve simplificar os problemas, nem mesmo para iniciantes, pois pode ser passar a falsa impressão de simplicidade (SMITH & RAGAN, 1995). Pode-se concluir, de acordo com Jonnasen (1991), que o Design Instrucional fundado no Construtivismo é mais indicado para aprendizes que já possuam conhecimentos avançados, pois como Duebel (2003) afirma, o modelo Construtivista, ao contrário dos objetivistas não é linear e por vezes é até caótico.

Para Ertmer (1993) a instrução não deve certificar que o indivíduo conheça os fatos, mas sim que ele possa elaborar e interpretar a informação que lhe é fornecida. A memória, segundo ele, está sempre em construção e não pode ser concretizada em estruturas ou peças únicas de conhecimento armazenado na mente, como postula o Cognitivismo. Para os construtivistas a instrução deve ajudar o aprendiz a explorar contextos e tópicos complexos em contextos reais, dando ênfase ao controle do estudante sobre a informação, devendo ele ser capaz de manipulá-la, além da mesma ser apresentada de diferentes maneiras em uma instrução.

Campos (1998) apresenta outras implicações para o Design Instrucional ao afirmar que a instrução construtivista não deve ser simplificada nem descontextualizada, entrando em concordância com Ertmer (1993). O autor finaliza afirmando que o objetivo da instrução construtivista é tornar o aprendiz um especialista - o que chamamos de *expert*.

Para Karagiori (2005) a instrução construtivista deve permitir que o aprendiz desenvolva, compare e entenda as múltiplas perspectivas de uma questão, desenvolvendo e avaliando os argumentos, explicando e justificando seus pensamentos.

Tam (2000) alerta que com isso se deposita grande responsabilidade nos alunos para que o aprendizado seja eficaz. Por exemplo, se espera que o aluno seja auto-motivado, interativo, colaborativo e participativo nas experiências de aprendizado. Cooper (1993) também ressalta que para o Construtivismo os alunos são considerados intrinsecamente motivados, e Smith (1995), em concordância, diz que a postura parte da premissa que os alunos são envolvidos e estão entusiasmados no processo de aprendizagem.

Algumas críticas são feitas ao Construtivismo justamente por depositar esta responsabilidade excessiva sobre os alunos. Para ilustrar essas críticas citar-se-á o conto “A história do cavalo que não está com sede” de Celéstin Freinet (FREINET, 1985), que

em forma de metáfora conta que de nada adianta forçar o cavalo a beber água se o mesmo não está com sede, ou seja, nem sempre as pessoas tem “sede” por conhecimento, tão pouco é universal esta curiosidade crítica sobre fenômenos. Muitas vezes indivíduos acabam por aceitar sua ignorância sobre um tema permanecendo em uma espécie de conformismo.

Tam (2000) comenta que assim como todas as teorias apresentadas, o Construtivismo não pode ser a única linha a ser seguida, pois apresenta limitações. A principal dela é que não há certo ou errado, o que torna o aprendizado extremamente difícil, para não dizer impossível, de ser avaliado. Como saber o que o aluno está pensando, se ele está apreciando ou apenas sendo curioso? Para Campos:

Só podemos medir os efeitos da aprendizagem através da observação do comportamento e performance do aprendiz frente a condições específicas. (CAMPOS; ROCHA *et al.*, 1998, p.12)

Até porque, no Construtivismo o mais importante é avaliar o processo e não o produto final da aprendizagem.

Tão difícil quanto avaliar o aprendizado é avaliar a eficácia da instrução, já que é impossível saber o que realmente acontece na mente dos aprendizes (DUEBEL, 2003), por isso talvez, se adote até hoje premissas behavioristas, uma vez que, por serem baseadas em fatos observáveis empiricamente é mais fácil de ser comprovado (pelo menos em teoria).

Por fim Karagiorgi (2005) alerta sobre a questão do controle do usuário sobre a situação de aprendizado. Em muitos casos, principalmente em casos onde os aprendizes são iniciantes, é difícil aceitar que ele saiba a melhor maneira de conduzir o aprendizado.

2.2.4) Considerações sobre Behaviorismo, Cognitivismo e Construtivismo

Nesta seção foi feita uma retomada geral das teorias consideradas como os principais fundamentos pedagógicos, filosóficos e teóricos do Design Instrucional.

Apesar destas teorias apresentarem diversas diferenças entre si todas convergem para um ponto central, descrever o fenômeno de aprendizagem e como se dá a aquisição de conhecimento, seja através da mudança de comportamento, reestruturação de estruturas cognitivas ou construído através da integração com conhecimentos pré adquiridos. Deve-se notar que uma teoria deriva da outra, ou seja, ao identificar limitações em uma postura, teóricos formulam outra, mas sempre com base na anterior. Outra

semelhança é que todas aproveitam o *feedback* do aprendiz, cada qual fazendo seu devido uso.

Interessante notar que sempre que há uma mudança de paradigma são feitas inúmeras críticas ao paradigma anterior, contudo, deve-se notar que muito se mantém do paradigma anterior, mesmo que de forma singela.

As semelhanças entre o Behaviorismo e o Cognitivismo são mais acentuadas pois as duas posturas são calcadas no Objetivismo. Ambas envolvem análise, decomposição e simplificação de tarefas para tornar a instrução mais simples e eficaz para os aprendizes (JONASSEN, 1991). Ambas se preocupam em dirigir a atenção do aprendiz para conteúdos ou partes relevantes da instrução, usando-se, se necessário, de artifícios para promover tal contraste, e ambas valorizam o aprendizado em ambientes e contextos realistas (DUEBEL, 2003).

Na mudança do Behaviorismo para o Cognitivismo, se manteve um aspecto fundamental, a observação de comportamento. Reynolds (2003) afirma que pesquisadores não conseguem observar os processos cognitivos que ocorrem na mente humana, portanto, fazem inferências baseadas na observação do comportamento humano.

Diferenças entre as correntes Objetivistas e o Construtivismo são mais evidentes, mas mesmo assim nota-se algumas semelhanças. Tanto o Cognitivismo quanto o Construtivismo se preocupam com os processos mentais que ocorrem durante a aprendizagem (ERTMER & NEWBY, 1993). A diferença para Karagiorgi (2005), é que enquanto o Cognitivismo e o Behaviorismo quebram o conteúdo em partes menores, o Construtivismo opta por apresentar o conteúdo, ou os problemas, em toda sua complexidade.

Pode-se dizer que as posturas Objetivistas focam nos processos iniciais de aprendizado, sendo assim mais apropriado para aprendizes iniciantes, e o Construtivismo seria mais indicado para processos mais avançados de aprendizagem, já que exigem muito mais dos aprendizes (VAN GOG; ERICSSON *et al.*, 2005)(FADDE, 2009).

As críticas não vem apenas das teorias mais recentes para as mais antigas. Pesquisas feitas por objetivistas concluem e apresentam resultados em forma de críticas ao Construtivismo ao afirmar que o controle total da situação de aprendizagem por parte do aprendiz é extremamente complicada, visto que os aprendizes são incapazes ou não possuem motivação o suficiente para assumir tal responsabilidades no aprendizado.

Nota-se que o Behaviorismo, em relação às outras posturas, parece ser a mais limitada, talvez por ser a mais antiga das três. Contudo, nota-se que grande parte dos

materiais instrucionais são behavioristas, por vezes se posicionam como sendo cognitivistas e até mesmo construtivistas. Isto se deve à grande influência desta postura no berço do Design Instrucional, como Burton (1996) afirma: Por mais criticado que seja o Behaviorismo ele “funciona”.

Será apresentado a seguir um quadro que visa sintetizar as semelhanças e diferenças destas teorias, apontando também o que cada postura entende por conhecimento, como se dá o aprendizado e algumas implicações destas teorias no Design Instrucional.

	PRESSUPOSTOS	APRENDIZAGEM	IMPLICAÇÕES NO DESIGN INSTRUCIONAL
BEHAVIORISMO	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento observável e mensurado • Objetivista • Empirista • Mente vista como “caixa preta” 	<ul style="list-style-type: none"> • Se aprende quando se dá a resposta correta a um determinado estímulo 	<ul style="list-style-type: none"> • Se explicita a resposta correta ao aprendiz • Decomposição da meta em sub-metas
COGNITIVISMO	<ul style="list-style-type: none"> • Metáfora homem/computador • Deduz processos mentais através do comportamento • Memória de trabalho limitada • Objetivista • Racionalista 	<ul style="list-style-type: none"> • Se aprende a partir da aquisição e reorganização de estruturas cognitivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Visa minimizar a carga cognitiva a ser despejada pelo aprendiz • Processamento da Informação • Objetivos não explícitos
CONSTRUTIVISMO	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento constructo • Não há realidade objetiva • Aluno engajado • Racionalista 	<ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento é construído a partir da integração de novas informações com conhecimento pré adquirido 	<ul style="list-style-type: none"> • Não se impõe uma realidade prescrita • Não se simplifica nem descontextualiza problemas • Controle do aprendiz sob seu aprendizado • Não há certo nem errado

Figura 6: Quadro síntese de semelhanças e diferenças entre posturas do aprendizado

Fonte: Arquivo Pessoal

Concluimos este breve comparativo com uma citação de Baruque (2003), ao afirmar que não há uma teoria que seja melhor ou pior, dependendo do aprendiz e da situação diferentes teorias podem ser aplicadas.

A seguir serão apresentados as aplicações e pesquisas feitas no campo do Design Instrucional animado, ou seja, a parte do Design Instrucional que usa animações como modalidade instrucional.

2.3) Pesquisas e aplicações do Design Instrucional animado

Imagens planas (tradução de *flat images*) são os materiais instrucionais mais antigos, baratos e universalmente disponíveis, podendo ser muito eficientes dependendo de como se planeja a situação em que ocorrerá a aprendizagem (WILLIAMS, 1968).

Muito antes das salas de aula, imagens já vem sendo usadas para representar coisas que sejam inerentemente visuo-espaciais, mas claro, nem sempre imagens tem eficiência garantida (TVERSKY; MORRISON *et al.*, 2002). Por vezes um texto consegue transmitir uma informação de uma maneira mais eficiente do que uma imagem, ou como Clark afirma, por vezes imagens podem atrapalhar o aprendizado, posto que na maioria das vezes são utilizadas de maneira não planejada (CLARK & LYONS, 2004).

Imagens são uma maneira alternativa (aos textos) de se apresentar informações, podendo ser esteticamente atrativas e motivadoras. Exemplos bastante conhecidos são os mapas ou qualquer outro sistema que seja naturalmente complexo espacialmente, difíceis de se descrever ou visualizar (op. cit.).

Imagens são usadas para exteriorizar conhecimentos internos, os quais podem ser divididos em dois tipos, segundo Tversky et. al (2002).: as que representam coisas que são essencialmente visuo-espaciais como mapas, moléculas e desenhos técnicos; e aquelas que representam coisas que são inerentemente visuais, como organização de informações em tabelas, gráficos e diagramas.

Autores usam o termo em inglês *Graphic*, cuja tradução literal seria Gráfico, contudo tal palavra na língua brasileira apresenta outra conotação, sendo esta tradução até um pouco limitada. Por este motivo é necessário distinguir alguns termos encontrados na literatura, pois são encontrados pontos de divergência entre alguns deles. *Graphic*, cuja tradução dada é Imagem, seriam todos os elementos não textuais como fotografias, ilustrações feitas à mão, animações, vídeos, gráficos, tabelas, etc. Sendo consideradas expressões icônicas de conteúdos tendo por objetivo otimizar a transmissão de alguma informação, não necessariamente voltada ao ensino (CLARK & LYONS, 2004). Adotando a terminologia de Twyman imagens seriam os elementos que ele denomina como Pictórico e Esquemáticos, sendo Verbal a parte textual não imagética (TWYMAN, 1979).

Dentro do campo das imagens podem ser feitas ainda mais distinções, ou categorizações. Gilbert define Retratos (ou fotografias) como sendo um tipo de imagem que seja registrada através de uma câmera fotográfica. Diagramas seriam elementos como setas e linhas e Gráficos elementos que podem ser entendidos melhor através de exemplos como tabelas, gráficos de pizza ou colunas (GILBERT, 2010).

O que foram chamando simplesmente de Imagem, Anglin define como Ilustrações, inserindo aqui desenhos, fotografias, tabelas, gráficos e diagramas. Fotografias para ele, diferente da concepção de Gilbert, são ilustrações que possuem alto grau de semelhança com a entidade pela qual representa (ANGLIN; VAEZ *et al.*, 2004).

Julga-se conveniente contudo, distinguir fotografias de ilustrações, utilizando o termo fotografia, ou simplesmente foto, para imagens capturadas por uma câmera fotográfica, seja lá qual sistema sejam usados, ilustrações para imagens feitas à mão, meios físicos como papel ou digitais, ou adotando o conceito de Gráficos de Gilbert. Tudo isso é chamado de Imagem (ou imagens estáticas por mais redundante que aparente), ou no termo Carlson (2003) e Clark (2004); arte estática.

Como mencionado acima, nem sempre uma imagem irá promover o aprendizado, por vezes textos podem ser mais eficazes. Tudo depende da função comunicativa da imagem, que de acordo com Clark podem ser: Decorativa, Representacional, Mnemônica, Organizacional, Relacional, Transformacional e Interpretativa. Existem também as funções psicológicas das imagens dentre elas: Sustentar Atenção, Ativar Conhecimentos Pré-adquiridos, Minimizar Carga Cognitiva, Construir Modelos Mentais, Suportar Transferência de Aprendizagem e Suportar Motivação (CLARK & LYONS, 2004). Assim, o uso da imagem deve depender de sua função e deve também ser baseado em evidências científicas (op. cit.).

Grandes problemas ocorrem quando se implica uma função ao invés de outra, como cita Gilbert (2010); “Em livros-texto imagens normalmente possuem apenas caráter decorativo”, sendo que em muitos casos a intenção vai além do simples decorar, devendo informar.

O uso de imagens como material instrucional é uma importante faceta das mensagens do Design Instrucional (ANGLIN; VAEZ *et al.*, 2004). Existem diversos estudos e técnicas para o design de informações, que segundo Fry (1997), são bem conhecidas e desenvolvidas. Contudo, não existe uma fórmula que se possa usar para projetar ou selecionar elementos visuais que irão melhorar o aprendizado (CLARK & LYONS, 2004). Existem sim sugestões, como Tversky ao apontar que imagens com

menor nível de detalhes são comumente mais eficazes às mais realistas (TVERSKY; MORRISON *et al.*, 2002).

Estas sugestões são baseadas em evidências científicas, normalmente consistindo em experimentos que buscam comparar a eficiência de dois ou mais tipos de materiais, afim de chegar a alguma conclusão sobre qual seria mais indicado para uma determinada circunstância.

No campo da química é comum a preocupação com o uso de imagens. Estas imagens são simulações da realidade baseadas em teorias (BARNEA & DORI, 2000), pois não é possível “ver” um átomo, nem um elétron, tão pouco como um elemento reage com outro.

O estudo de química pode ser constituído em níveis de visualização, como o Submicro ou Nanoscópico (muito pequeno para ser visto até mesmo com microscópio como átomos, ions etc), Macroscópico (pode ser investigado com instrumentos e podem ser apresentados visualmente) e Simbólico (utilização de letras para representar elementos, sinais para representar cargas elétricas, números para indicar a quantidade de elementos) (GILBERT, 2010). Observa-se a forte presença de representações gráficas em todos estes níveis.

Foi possível constatar a existência de diversos trabalhos buscando avaliar o efeito do uso de imagens, simulações, computadores no ensino de química (DALLACOSTA; FERNANDES *et al.*, 1998, FERNANDES, 2001, RIBEIRO & GRECA, 2003, NARDIN; LOGUERCIO *et al.*, 2004), bem como uma grande preocupação com a aplicação de ambientes e imagens 3D, uma vez que compostos químicos são tri-dimensionais (CARVALHO; PUPO *et al.*, 2002, MELEIRO & GIORDAN, 2003, GIORDAN & GÓIS, 2005, GRABOWSKI, 2005). Outros estudos buscam comparar o uso de imagens 2D e 3D (OKE & ALAM, 2010)(WU; KRAJCIK *et al.*, spring 2000). Interessante notar que resultados apontam para uma preferência de imagens em 2D, inferindo pelo fato dos os alunos estarem mais acostumados com este tipo de representação.

Sem estas representações o ensino de química seria de difícil compreensão (FERREIRA E ARROIO, 2010). Contudo, nem todos os trabalhos, como se esperava, apontam o uso de imagens como sendo superior ao uso de texto. Carlson *et. al.* em pesquisa demonstrou que o uso de imagens (fórmulas químicas) ao invés de textos obtém melhores resultados somente em casos onde existe grande interatividade entre elementos, ao passo que, quando havia baixa interatividade, o uso de diagramas ou texto não apresentava diferenças relevantes (CARLSON; CHANDLER *et al.*, 2003). Deve-se notar que este resultado imparcial ocorreu em uma situação de extrema simplicidade, por

isso reafirmamos que sem o auxílio de imagens o estudo da química com certeza seria mais difícil.

Denominou-se imagens como sendo pertencentes à categoria de Arte Estática as animações estão inseridas na categoria de Arte Dinâmica, que inclui animações (série de imagens que dá a ilusão de movimento), vídeo (série de imagens capturadas tal qual elas ocorrem, de forma digital ou magnética) e realidade virtual (ambiente interativo 3D) (CLARK & LYONS, 2004).

De acordo com a definição de Clark (op. cit.), Mayer afirma que animações são elementos visuais dinâmicos que podem ir desde realistas até abstratos. São uma série de imagens que simulam movimento, diferente de vídeos, que também seriam uma série de imagens, mas diferente de animações, são capturadas por meios digitais ou em filme, e depois apresentadas de maneira serial num espaço de tempo (MAYER & MORENO, 2002).

Uma animação consiste então em objetos que são criados artificialmente através de desenhos ou outro método de simulação, enquanto vídeo são imagens em movimento que são representações de objetos reais capturados por uma câmera. Fazendo um paralelo com arte estática, uma animação seria uma série de ilustrações dando a ilusão de movimento enquanto o vídeo seria uma sequência de fotografias dinâmicas. Quando usadas para entretenimento animações ainda podem ser chamadas de *cartoons* (op. cit.).

Em contrapartida Lowe define animação como sendo um display pictográfico que muda sua estrutura ou outras propriedades com o tempo, o que nos dá a impressão de movimento (LOWE & SCHNOTZ, 2007). Diferente dos autores supra citados, ele inclui vídeos na sua definição, com o argumento de que psicologicamente o usuário não faz esta distinção, contudo adotaremos a definição de animação como sendo diferente de vídeo tal qual Clark e Mayer definem.

Uma animação realista ou abstrata, como Mayer (2002) citou anteriormente, é referente ao grau de Granularidade Espacial. Assim como tem-se graus de realismo em imagens, também chamado de grau de iconicidade, em animações isto também é observado. Neste caso pode ser relativo tanto às características espaciais quanto temporais. A Granularidade Espacial é relativa ao grau de realismo da imagem, e Granularidade Temporal, relativa ao movimento, podendo também ir do realista até o mais simplificado ou estilizado (LOWE & SCHNOTZ, 2007).

Em mídias estáticas, nem sempre um alto grau de realismo é o ideal para uma instrução, sendo as representações simplificadas comumente as mais indicadas. Em

animações podemos apresentar simulações com perfeição temporal, ou seja, alta granularidade temporal, ou então podemos “distorcer” o tempo, acelerando ou reduzindo-o (conhecidos da linguagem do cinema como câmera acelerada e câmera lenta, respectivamente). Estes artifícios são úteis quando se deseja evidenciar Micro-Eventos ou Macro-Eventos (op. cit.). Estes conceitos podem ser melhor compreendidos através do exemplo de uma animação representando os ponteiros de um relógio, sendo o Macro-Evento o ponteiro das horas e o Micro-Evento o ponteiro dos minutos. Assim, se quisermos evidenciar um evento macro, acelera-se o tempo tornando-o mais saliente, sendo o inverso também válido.

O que Lowe denomina como Granularidade, Weiss chama de Nível de Fidelidade, sendo o Nível de Fidelidade Físico referente ao nível de realismo visual (Granularidade Espacial) e Nível de Fidelidade Funcional relativo ao comportamento da animação (Granularidade Temporal) (WEISS; KNOWLTON *et al.*, 2002).

A decisão quanto ao Nível de Fidelidade, ou Granularidade, a ser aplicado em uma animação deve depender da natureza do tema em questão. Se for o caso de memorizar informação, animações com menor grau de fidelidade podem ser mais eficazes, enquanto que se a meta for uma compreensão conceitual, uma animação mais realista (até mesmo um vídeo podemos apontar) seria mais indicado (op. cit.). Deve-se levar em conta principalmente qual a função que se deseja impor à animação.

Na literatura é possível encontrar diversas funções para as animações, adotaremos aqui uma distinção inicial que seria; para Entreter e para Instruir. Lowe apresenta inicialmente duas funções principais no campo das animações instrucionais, a Facilitadora e a Permitidora (tradução de *Enabling Function*). Uma animação com Função Facilitadora tem por objetivo facilitar a compreensão de um conteúdo complexo, conteúdo este que seria perfeitamente compreendido sem o uso da animação. Em contrapartida, uma animação instrucional com Função Permitidora seria uma animação essencial para a compreensão de um determinado conteúdo, pois sem ela seria impossível compreendê-lo (LOWE & SCHNOTZ, 2007).

Weiss (2002) abre o leque de possíveis funções de uma animação, sendo elas: Função Cosmética, ou decorativa - que tem por objetivo apenas impressionar, sendo neste caso pouco útil para o ensino; Função de Dirigir a Atenção - sendo usados artifícios gráficos ou efeitos de transição para salientar determinados pontos da animação (o chamado *attention-cueing*); Função Motivacional - cujo nome já identifica sua função; Função de Apresentação - cuja meta é apresentar um evento tal qual ele é (em relação ao seu movimento), mas não necessariamente de maneira realista graficamente (como

vídeos). Para exemplificar o autor cita uma animação de um esquema que representa o sangue circulando pelo nosso corpo; Função Esclarecedora - tem função semelhante à anterior com a diferença de não apresentar nenhuma informação nova.

Acredita-se contudo, que não se possa determinar previamente ou estipular uma função para uma animação, pois dependendo do aprendiz, principalmente do seu conhecimento pré-adquirido, a interpretação pode ser completamente diferente da estipulada pelo designer. Por exemplo, o que o designer projeta para ser uma animação com função de motivação pode ser surtir no aprendiz uma função meramente cosmética.

Analisando a história da animação, nota-se que durante quase todo seu percurso ela foi voltada quase que exclusivamente para o entretenimento. E justamente por esse motivo alguns professores vêem com um certo ceticismo o uso de animações em sala de aula, justamente por relacionarem animação com este aspecto recreativo. Lowe reconhece que animações, dentro de sua curta história, tem sido usadas essencialmente para o entretenimento, e que este fato pode inclusive causar a impressão de que animações aplicadas ao ensino possuem o caráter positivo de motivar o aluno. Contudo, podem também ter o efeito negativo, recreacional, não auxiliando em nada o aprendizado neste caso (LOWE & SCHNOTZ, 2007).

Barak afirma que nos últimos dez anos filmes animados eram apresentados no cinema e na televisão sempre com função de entreter, atualmente contudo, muitas animações com fins educacionais podem ser encontradas (BARAK; ASHKAR *et al.*, 2010).

Graças aos avanços tecnológicos, vem tornado cada vez mais frequente e popular o uso de animações na educação (LIN & ATKINSON, 2010). Ferramentas como Java, Flash, até aplicativos baseados na web, tem permitido que professores e educadores apresentem animações complexas aos seus alunos. Fenômenos macroscópicos (e.g. movimento de planetas no sistema solar) e microscópicos (e.g. átomos e moléculas) podem ser ilustrados agora de maneira mais atraente através destas representações dinâmicas (BARAK; ASHKAR *et al.*, 2010).

Com a possibilidade de usar animações como materiais de apoio didático surgiu também uma grande expectativa sobre o potencial destas representações para melhorar ou aprimorar o aprendizado. Hegarty afirma que tal expectativa ocorre sempre que surge uma nova tecnologia (HEGARTY, 2004). Ainsworth também observou este otimismo por parte de educadores pois há a suposição de que pessoas aprendem melhor ideias complexas com animações e que animações são motivadoras o que vai ao encontro das demandas cognitivas (AINSWORTH, 2008).

Para Barak (2010) animações podem contribuir para a melhor compreensão de duas maneiras. A primeira seria ao facilitar a criação de modelos mentais de conceitos, fenômenos e processos. Segundo, seria no momento em que remove a tarefa difícil do aprendiz de ter que gastar sua carga cognitiva para formar um modelo mental dinâmico a partir de uma imagem. Mais adiante, ao se discutir os resultados de algumas pesquisas este ponto será retomado.

Contrapondo a afirmação de Fry (1997) de que; “Técnicas de design para informações estáticas são bem compreendidas e já bem evoluídas, porém, essas técnicas falham quando informações dinâmicas são consideradas (p.1)”, recentemente muitos estudos tem sido realizados relativos ao uso de animações como material instrucional, suas implicações, melhor grau de granularidade temporal e espacial, etc (HÖFFLER & LEUTMER, 2010).

Dentre estes estudos realizados, nota-se divergências entre resultados, o que não é um fator negativo, muito menos depreciativo. Alguns revelam animações como sendo positivas para o aprendizado, outras pesquisas demonstram que animações e imagens apresentam efeitos semelhantes e outros ainda apontam uma superioridade no uso de imagens estáticas (LIN & ATKINSON, 2010)(AINSWORTH, 2008).

Notou-se que o principal intuito destes estudos é fazer inferências com base em resultados obtidos em testes empíricos, e que a grande maioria destes estudos são feitos por psicólogos e não designers. Tais elucidações são feitas sob o prisma de teorias como o Behaviorismo, Construtivismo e na grande maioria dos casos o Cognitivismo.

Independente da teoria usada para interpretar os resultados, ou os resultados *per se*, é quase certo que não existe uma situação em que uma animação ou uma imagem *sempre* seja superior (HÖFFLER & LEUTMER, 2010).

A discussão a seguir então, é relativa a algumas destas pesquisas, bem como os descobrimentos e discussões apontadas pelas mesmas. Tais discussões servirão de base para a discussão final deste projeto.

2.3.1) Pesquisas realizadas no campo do Design Instrucional animado

Serão apresentadas algumas pesquisas já realizadas no âmbito do Design Instrucional com uso de animações. Em um primeiro momento pesquisas de modo geral e em seguida especificamente dentro da química, buscando sempre que possível ilustrar com os exemplos apontados nestas pesquisas.

Pesquisas com Animações Instrucionais - Temas Diversos

As pesquisas que serão apresentadas a seguir são todas de natureza empírica e realizadas de maneira muito semelhante. Consistem na separação de grupos de indivíduos aos quais serão aplicados os materiais. A amostra é separada em grupos que variam em quantidade, de acordo com as variáveis estudadas, normalmente de 2 a 4 grupos, sendo separados inicialmente de acordo com a modalidade da instrução. As outras variáveis comumente são; o uso de texto em forma escrita ou narrada, uso de elementos para dirigir a atenção, etc, ou em alguns casos ainda são feitos testes antes e depois de apresentar a instrução animada, os chamados pré e pós-testes, nestes casos normalmente não há separação de grupos.

A grande maioria destes experimentos comprovam o melhor aprendizado pelo grupo que usou animações como instruções à imagens estáticas ou uma melhora na compreensão após serem expostos às animações, em casos onde são feitos pré e pós-testes.

O experimento conduzido por Huifen (2006) por exemplo, mostrou que ocorreu um melhor aprendizado no grupo que usou animação do que o grupo que usou imagens de instruções a respeito da língua inglesa para públicos que não falam a língua.

Da mesma forma, em experimento feito em laboratório - confrontando animação e imagem - sobre o estudo do ciclo de pedras (ver Figura 7), Lin (2010) observou que, na comparação entre instruções com imagens sinalizadas, imagens sem sinalização, animações com sinalização e animação sem sinalização, houve um melhor desempenho dos grupos que usaram as animações, não havendo diferença significativa entre os grupos com e sem sinalização. Contudo, o uso de animações não surtiu efeitos motivacionais como se esperava .

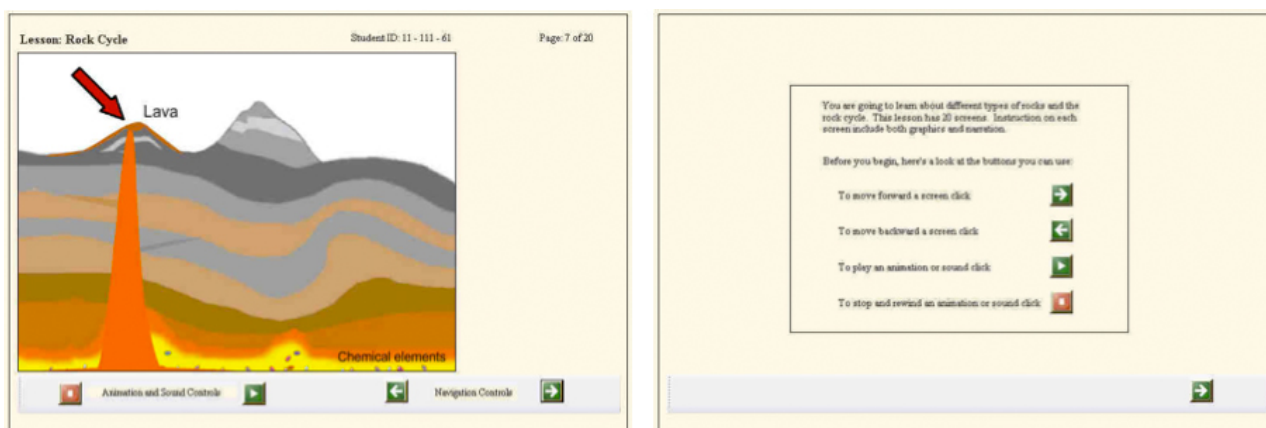


Figura 7: Quadro de animação sobre ciclo de pedras usado por Lin (2010)

Fonte: (LIN, 2010)

Os resultados obtidos por Barak (2010) indicam que estudantes que tiveram o auxílio de animações desenvolviam maior motivação em aprender ciências, diferente dos resultados obtidos por Lin (2006). Abaixo uma tela da animação utilizada neste experimento. Podendo notar o vasto uso de cores e um direcionamento visual fraco, não havendo uma aplicação de princípios básicos de design como o de Proximidade (agrupamento de informações semelhantes) e Contraste (variação de cores e tipografia por exemplo para promover hierarquia das informações apresentadas).



Figura 8: Uso de animação para motivar o aprendizado de ciências

Fonte: (BARAK; ASHKAR *et al.*, 2010)

Da mesma forma, Lewalter (2003) também observou uma vantagem do grupo que usou animações, neste caso animações acompanhadas de textos, comprovando assim a eficácia do aprendizado Multimídia.

Em se tratando da aplicação do princípio Multimídia, Mayer (1998) observou que estudantes que foram expostos à animações instrucionais que seguiam este princípio, obtiveram soluções 50% mais criativas. Neste caso a parte visual (pictórica) estava próxima da parte verbal. Na figura a seguir têm-se quadros selecionados da instrução usada neste experimento.



Figure 1. Selected frames from a multimedia lesson on the formation of lightning.

Figura 9: Quadros selecionados de animação usada no experimento de Mayer (1998)

Fonte: (MAYER & MORENO, 1998)

Moreno (1999) obteve resultados que suportam o uso de texto em forma de narração ao invés de em forma escrita, também condizente com o princípio Multimídia. O experimento trata do mesmo assunto apresentado anteriormente (Mayer e Moreno são colegas de trabalho).

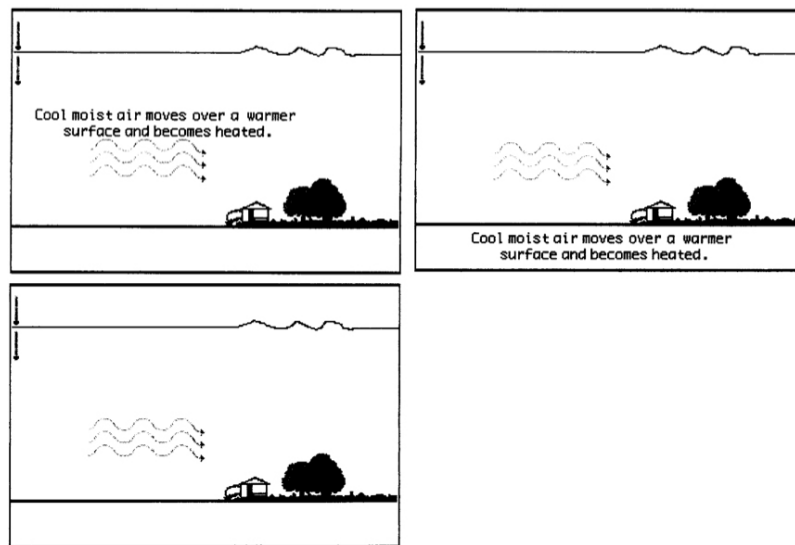


Figure 1. A frame selected from the animation corresponding to

Figura 10: Quadros seleccionados de animação usada no experimento de Moreno (1999)

Fonte: (MORENO & MAYER, 1999)

Em outro trabalho, Mayer (1997) constata novamente um aumento de soluções criativas por parte do grupo que usou instruções multimídia. Neste caso o material representava o funcionamento de uma bomba de ar (como pode ser visto na figura a seguir) que proporcionou resultados que atestaram a eficácia do princípio de aprendizado proposto pelo autor.

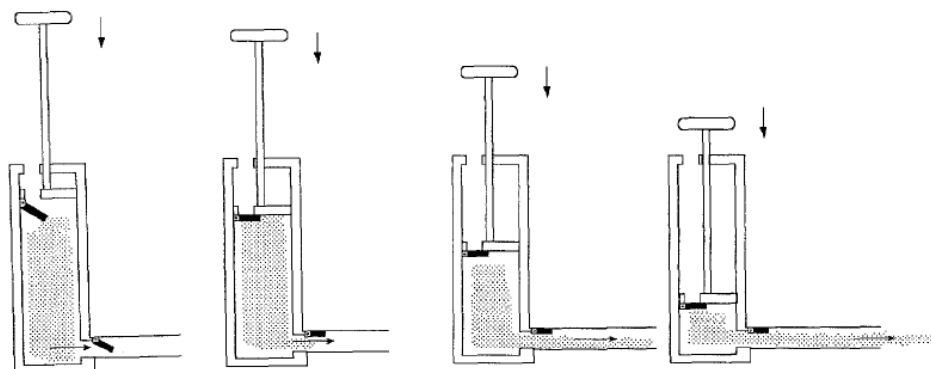


FIGURE 1. Selected animation frames and corresponding narration from a multimedia lesson on how a tire pump works. (Adapted from The World Book Encyclopedia, Vol. 15, p. 904, 1994. Chicago: World Book, Inc. Copyright 1994 by The World Book Encyclopedia. By permission of publisher.)

Figura 11: Quadros seleccionados de animação usada no experimento de Mayer (1997)

Fonte: (MAYER, 1997)

Nos três trabalhos supra citados, nota-se uma simplicidade gráfica extrema, podendo concluir que não houve a participação do designer na confecção das animações, devido principalmente ao seu caráter primitivo.

Em dois experimentos feitos por Mayer e Moreno (MAYER & MORENO, 1998), um referente à formação de raios e outro sobre o sistema de freios de carros, um dos grupos recebeu instruções animadas, variando apenas o modo como a informação textual era apresentada (textual ou verbal). O grupo que recebeu a parte textual narrada conseguiu melhores resultados do que o outro grupo, sendo capaz de lembrar as etapas da instrução com melhor eficácia.

Completando a lista de experimentos que atestam a superioridade de instruções animadas, têm-se a pesquisa bibliográfica realizada por Höffler (2007). Aqui o autor reuniu mais de 70 experimentos comparativos sobre a eficácia de animações em relação ao uso de imagens estáticas, constatando uma clara vantagem no uso de animações para o ensino de conteúdos dinâmicos (HÖFFLER & LEUTMER, 2007). Uma das principais justificativas para estes resultados é o caráter transitório da animação, ou seja, quando o usuário assiste uma animação, ao contrário de uma imagem ou sequência de imagens, ele não precisa se esforçar para “gerar” movimento em sua mente, ele já é exposto de maneira explícita.

Mencionados os estudos acima, como Höffler (op. cit.) já apontava, a grande maioria das pesquisas atestam a superioridade das animações no âmbito instrucional. Lowe (2010) contudo, não observa tal fato em uma de suas pesquisas. Neste caso o grupo que utilizou material instrucional animado obteve resultados inferiores ao grupo que utilizou quadros chave (estáticos) contendo a mesma informação (LOWE; SCHNOTZ *et al.*, 2010). Neste exemplo o tema era o pulo de um canguru, como pode ser visto na Figura 12, e o público dos testes eram alunos de psicologia.



Figura 12: Quadros-Chave usados no experimento de Lowe (2010)

Fonte: (LOWE; SCHNOTZ *et al.*, 2010)

Da mesma forma Mayer e seus colegas, ao buscar averiguar se instruções animadas e narradas são mais eficazes do que imagens impressas junto à textos, obtém resultados que foram contra as expectativas (MAYER; HEGARTY *et al.*, 2005).

Já Clark (2004), ao testar a eficácia entre desenhos com texto, desenho sinalizados com setas e vídeo, apontou que os 3 casos apresentaram resultados semelhantes, não havendo nenhuma vantagem significativa no uso da representação dinâmica (CLARK & LYONS, 2004).

Conclui-se então que nem sempre uma animação instrucional é melhor do que seu referente estático. Parece haver contudo, um consenso na literatura em relação ao uso de animações instrucionais de processos “invisíveis”, como Lin (2006) e Ainsworth (2008) apontam. A seguir apontar-se-à algumas pesquisas feitas especificamente no campo da química, onde grande parte dos conceitos se enquadram nesta categoria.

Pesquisas com Animações Instrucionais - Química

A quantidade de trabalhos referentes ao uso de animações na química foi consideravelmente menor. A maioria dos trabalhos encontrados nesta revisão bibliográfica foram acerca do uso de imagens estáticas no ensino de química, principalmente discussões quanto ao uso de representações 2D ou 3D de moléculas.

Dallacosta (1998) afirma que na maioria dos cursos de Química os materiais usados em sala se restringem ao recurso de quadro, giz e livros (DALLACOSTA; FERNANDES *et al.*, 1998). Buscando reverter este quadro, alguns estudos tem sido feitos a fim de avaliar a eficácia do uso de animações e vídeos com fins pedagógicos nesta área, visando melhorar o ensino da disciplina, onde o coeficiente de alunos que possui dificuldade para compreender os conceitos é muito alto.

Segundo Vermaat (2003) uma das grandes dificuldades que os alunos possuem é a de conciliar e relacionar o mundo macroscópico e o mundo molecular (nanoscópico). Fenômenos que não podem ser observados ao olho nu, nem mesmo sentidos, são os mais complexos de serem compreendidos (BARAK; ASHKAR *et al.*, 2010), os chamados de processos “invisíveis” por Lin (2006).

Processos químicos a nível molecular são dinâmicos, impossíveis de serem observados, e tipicamente muito difíceis de se imaginar (formar modelo mental condizente). Átomos, moléculas e íons não são estáticos, possuem caráter vibratório, se movem, colidem e interagem entre si. Estes processo dinâmicos, segundo Vermaat

(2003), são melhores representados com animações (o que não quer dizer que sejam melhores compreendidos).

Neste caso, a função da instrução é formar um modelo mental que se assemelhe com um modelo conceitual, sendo este aceito pela comunidade científica. Além de criar um modelo mental, estudantes devem ser capazes de explicar e prever fenômenos macroscópicos, e posteriormente conciliar os mundos macroscópico e nanoscópico em símbolos, e vice-versa.

Entende-se Modelo Mental como sendo um modelo pessoal, uma representação interna, que pode ser exteriorizado através de desenhos, e Modelos Conceituais como sendo modelos públicos, uma representação externa criada por pesquisadores, professores, etc (op. cit.).

Para que o aluno consiga de fato conciliar os mundos macro, nano e simbólicos, seja com uso de animações ou imagens, deve ocorrer uma Aprendizagem Significativa. E para que ocorra a aprendizagem significativa o aluno deve ser capaz de criar tais modelos mentais a partir do material disponível, tornando vital a habilidade espaço-visual do mesmo. Principalmente no caso de instruções estáticas, onde o aluno tem que animar mentalmente as imagens. Höffler (2010) afirma que materiais instrucionais animados não exigem tanto esta habilidade por parte do aprendiz quanto imagens estáticas (HÖFFLER & LEUTMER, 2010). Por isso, pesquisas tem sido feitas com o intuito de comprovar esta e outras hipóteses.

Dentre as pesquisas que entram em concordância com Höffler, comprovando os efeitos relevantes da animação, têm-se a feita por Toplis (2007), que alega que as animações não só motivam os alunos como também os ajudam a compreender melhor os ângulos das ligações entre átomos (TOPLIS, 2007).

No projeto chamado “Bioquímica Através da Animação”, de Machado e colaboradores (2004), como o nome sugere, usou-se de animações para promover e melhorar a compreensão de tópicos relacionados à bioquímica. Partindo da premissa que a informática facilita a aprendizagem, a pesquisa constatou que quase a totalidade dos alunos de fato já possuíam algum conhecimento em informática, e todos referiram às animações como sendo esclarecedoras em se tratando da exposição de conteúdos de bioquímica, não havendo aqui um teste comparativo.

Reiska (2010) ao comparar o aprendizado de alunos usando animações ou imagens estáticas, também concluiu que a animação se mostrou como uma poderosa ferramenta de visualização de eventos dinâmicos, melhor do que a mídia estática. Na imagem seguinte nota-se a presença de textos em forma escrita bem como uma

simplicidade gráfica, não havendo pontos de contraste (direcionando o olhar para pontos relevantes da instrução), dentre outros problemas de design.

- students who had learned from the paper.

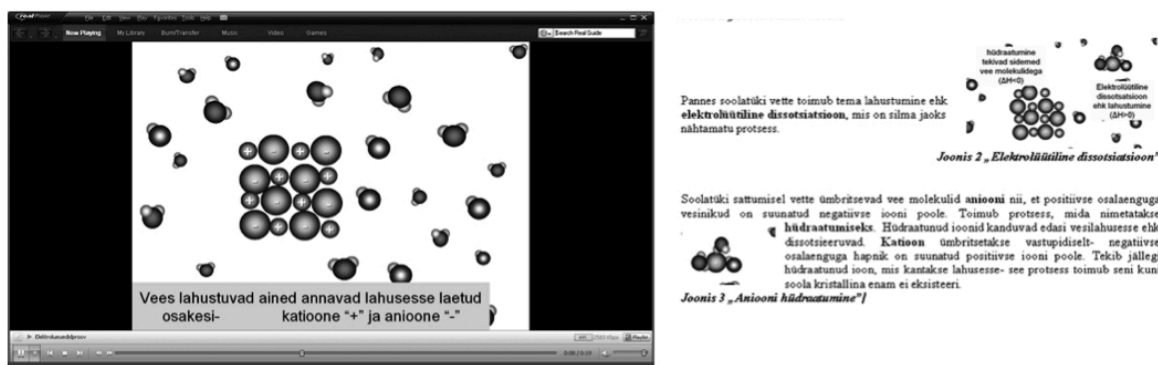


Figure 2. Screenshot of the animation and a part of the paper based instruction

Figura 13: Quadro de animação usada no experimento de Reiska (2010)

Fonte: (REISKA, 2010)

Shammari (2010) buscou avaliar a eficácia no aprendizado do tópico de mecanismos de reações químicas (especificamente de reações sintéticas) com animações. As animações, localizadas na internet (baseadas na web), mostravam não só os eventos nanoscópicos mas como também o macroscópico, como a mudança de cor de uma mistura no tubo de ensaio, e ambos os eventos eram apresentados simultaneamente, como é possível notar na imagem a seguir. A avaliação era feita com base nos desenhos que os alunos faziam no papel, escrevendo o mecanismo da reação química. Os testes revelaram que alunos obtiveram notas muito melhores depois de serem expostos às animações. Os alunos compreenderam melhor os princípios químicos bem como os processos laboratoriais.

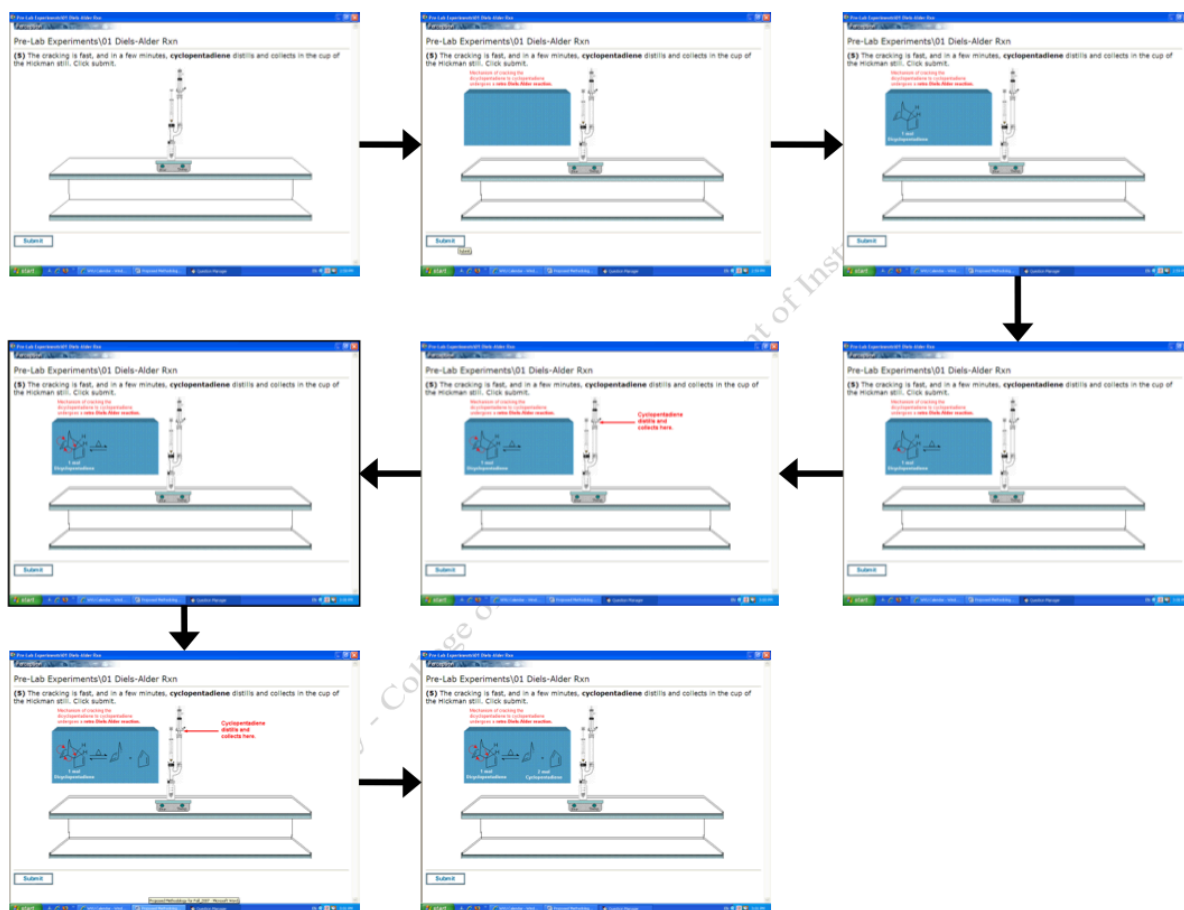


Figure 1. Series of Animation.

11

Figura 14: Quadro de animação usada no experimento de Shammari (2010)

Fonte: (AL-SHAMMARI, 2010)

Algumas das pesquisas sobre o uso de animação na química mencionam e aplicam o princípio multimídia de Mayer. Um exemplo é a pesquisa de Tasker (2006), onde alunos que foram apresentados às animações narradas desenvolveram um modelo mental mais vívido dos fenômenos apresentados. A capacidade de transferir estas idéias para outras situações também foi percebida. As imagens seguintes mostram quadros das animações usadas bem como imagens de microscópio mostrando os efeitos visíveis da reação.

Figure 3. When copper metal is covered with silver nitrate solution, silver crystals form on the surface of copper metal; some copper ‘dissolves’, and the solution gradually turns blue.

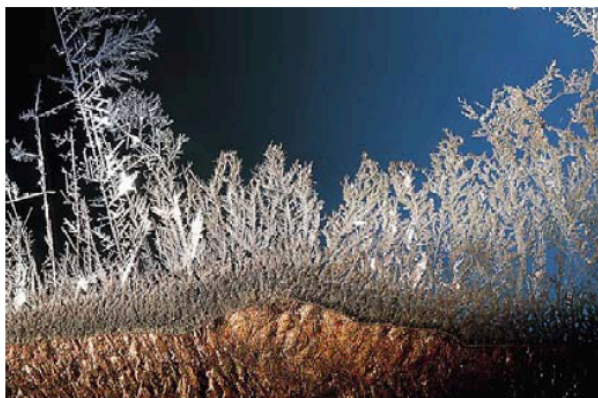


Figure 4. Frame from a *VisChem* animation showing reduction of silver ions to silver atoms on a growing crystal; with concomitant release of copper(II) ions, in a two to one ratio respectively.

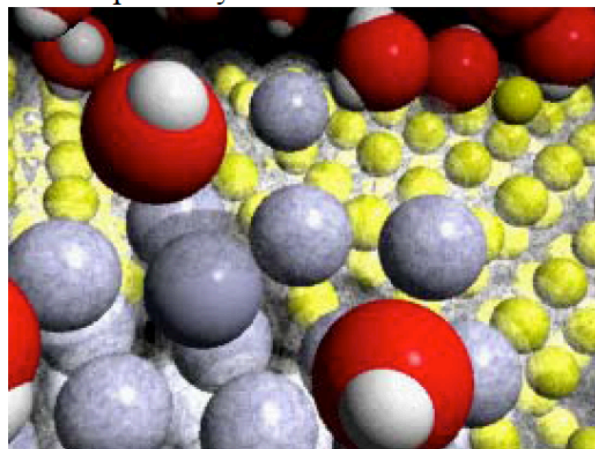


Figura 15: Quadros usados Tasker (2006) apontando eventos micro e nanoscópicos

Fonte: (TASKER, 2006)

Da mesma forma, Jennings (2007) obteve melhora significativa no aprendizado de físico-química com uso de animações, podendo observar também um aumento no interesse por parte dos alunos nesta disciplina. O DVD usado neste experimento continha não só animações mas também teoria em formato escrito, exercícios, *links* e vídeos, todos referentes ao mesmo tema.

Existem algumas pesquisas, como a de Jennings (op.cit.), que usam animações inseridas em uma estrutura mais complexa, por vezes chamados de *softwares* de aprendizagem. Para o estudo de Pastoriza (2007) por exemplo, fora criado um pequeno software baseado na web, onde o usuário mediante usuário e senha tem a sua disposição todo o conteúdo. Além das animações o software conta com explicações e exercícios sobre os conteúdos referidos, estrutura semelhante à usada por Jennings (2007). De uma forma geral os alunos avaliaram de maneira positiva o uso da ferramenta como material de apoio, embora alguns ainda apresentassem resistência quanto ao uso do software sem a orientação do professor.

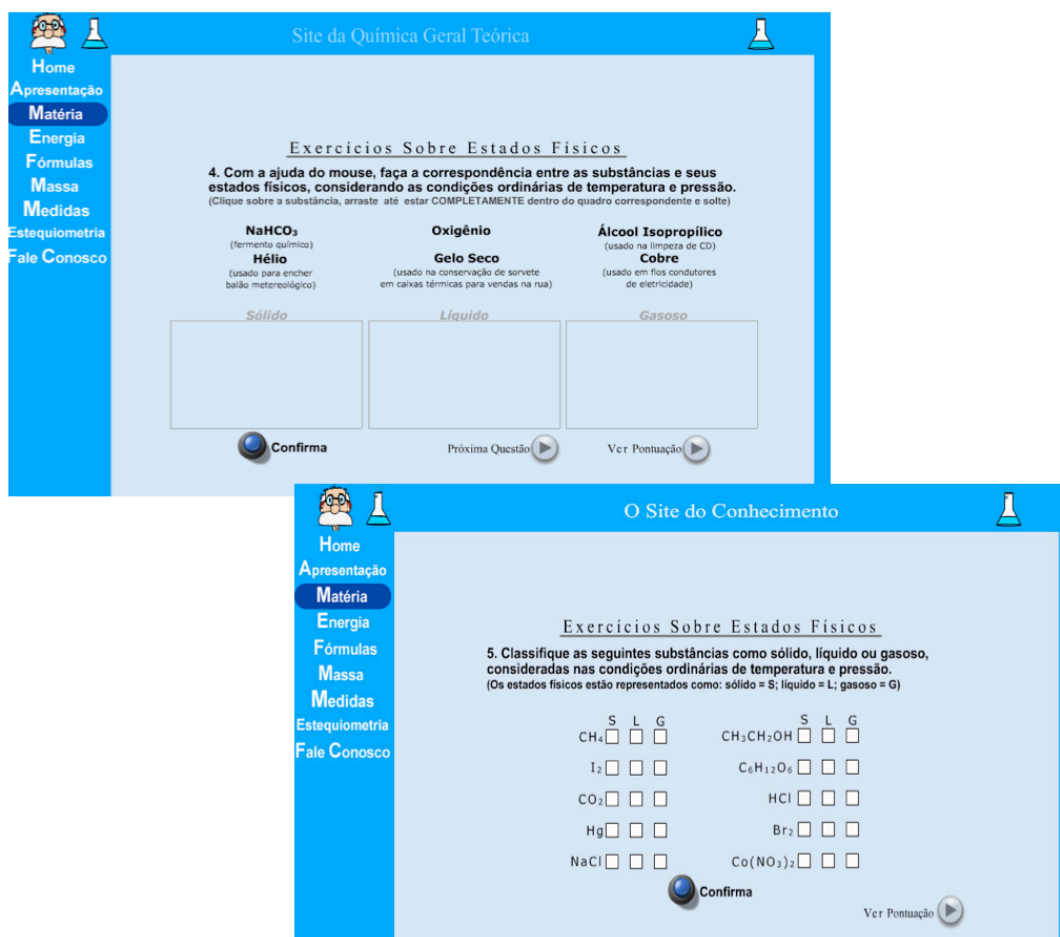


Figura 4 – Exemplos de algumas das modalidades de exercícios de fixação

Figura 16: Quadros do software educacional usado por Pastoriza (2007)

Fonte: (PASTORIZA, 2007)

Na imagem acima notamos alguns princípios de design sendo aplicados, contudo, ainda é um trabalho com design fraco, havendo a possibilidade de ser melhorado. Assim como outros trabalhos apontados acima, fica evidente a não participação de um designer no processo de criação das animações ou *softwares*, muitas vezes ficando por conta do próprio professor.

O *software* criado por Yokaichiya (2000) para ensinar o tema de Radicais Livres, possibilita ao aluno seguir seu próprio ritmo. Ele continha animações, bem com telas explicativas estáticas e questões referentes ao tema. De forma geral o *software* teve boa aceitação além de contribuir para a motivação dos alunos, melhorar o dinamismo da aula (YOKAICHIYA, 2000).

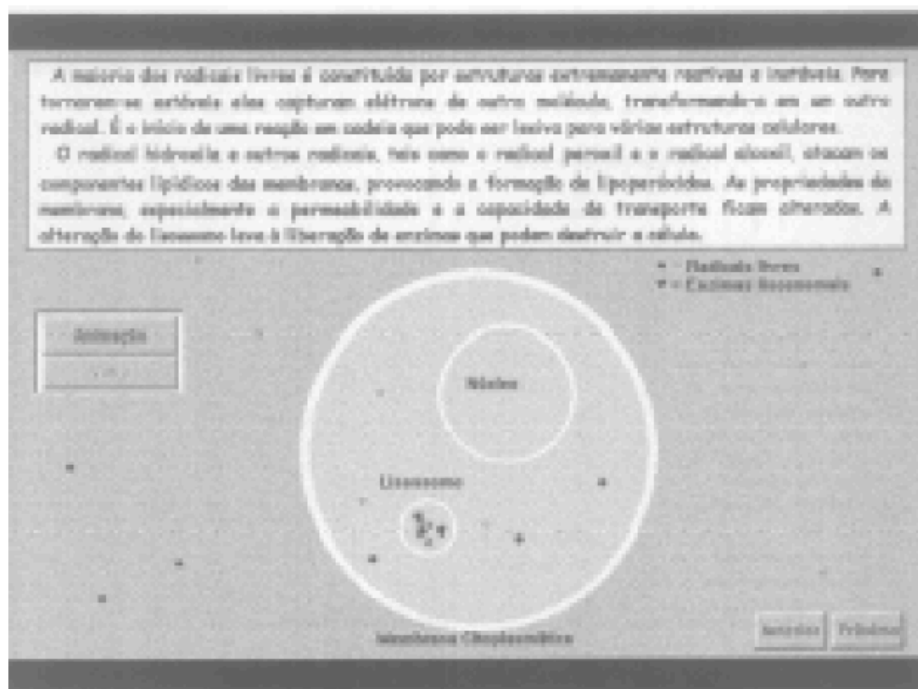


Figura 4. Animação ilustrando os processos que levam a lesões de membranas celulares provocadas pelos radicais livres.

Figura 17: Quadro de animação usada no experimento de Yokaichiya (2000)

Fonte: (YOKAICHIYA, 2000)

Na imagem acima é possível observar a presença do texto de forma escrita e a animação sendo executada logo abaixo deste. Por mais que a imagem não apresente as cores que talvez existissem no original, nota-se mais uma vez o design “rígido” do software.

Apesar do design das animações e *softwares* acima estarem longe do ideal (do ponto de vista do design), nenhuma pesquisa foi encontrada atestando efeitos negativos do uso de animação no campo da química. A questão que é colocada aqui diz respeito mais à qualidade das animações, nem tanto a quantidade. Se animações com baixa qualidade de design foram capazes de promover o aprendizado de maneira eficaz, imagina-se que se um design mais adequado aos padrões e princípios, de usabilidade, ergonomia visual, diagramação etc, pode ser até melhor compreendido ou no mínimo ser mais agradável visualmente.

Medeiros (2010) completa a reflexão sobre o uso de simulações, vídeos e animações encontradas na rede mundial de computadores, afirmando que existe bastante material disponível mas que o uso deles é limitado.

Pekdag (2010) alerta para outro ponto importante ao afirmar que muito do material disponível é relativamente bom, contudo, muitos professores não conseguem adequar o novo material (não só animações) ao seu plano de aula. Acredita-se que animações sejam de fato uma poderosa ferramenta de visualização de eventos dinâmicos, contudo, deve-se “aprender” a fazer bom uso da mesma como menciona Zare (2002).

Além da questão apontada anteriormente, deve-se cuidar para que a animação não surta um efeito recreativo (Função Cosmética), ou meramente ilustrativo. Por isso, no caso do uso de animações no processo de ensino-aprendizagem de química orgânica, é proposto que haja o acompanhamento do professor para que se alcance os objetivos desejados (MEDEIROS, 2010).

O teste com animações neste projeto trabalhará desta forma, o uso da animação ou imagem, junto à explicação verbal e acompanhamento do professor, atendendo assim ao princípio multimídia e evitando outros problemas de caráter pedagógico.

2.3.2) Conclusões e Discussões Geradas em Pesquisas de Design Instrucional

A partir destas pesquisas, como as apresentadas anteriormente são feitas diversas conclusões o que gera algumas discussões. Nota-se que o intuito não é meramente apontar se uma animação é melhor ou pior do que uma imagem, o âmbito maior é no sentido de propor justificativas, explicações para os resultados obtidos. Foi encontrada uma variedade de pontos de vista para cada questão, o que torna o estudo interessante.

Uma das discussões mais recorrentes é quanto à carga cognitiva necessária para compreender uma animação. Assumindo que é da natureza da animação demonstrar vivamente eventos que apresentam mudanças com a passagem do tempo, providenciando assim, um suporte mais “externo” para que aprendizes construam representações mentais dinâmicas em relação às imagens (LIN & ATKINSON, 2010). Podendo levar à conclusão que o uso de animações é melhor para apresentar conteúdos dinâmicos.

Contudo, imagens mesmo sendo de natureza estática, permitem que o aprendiz crie um modelo mental dinâmico a partir delas, basta pegarmos diálogos de uma história em quadrinhos - onde a pergunta de um personagem em relação à resposta de outro é percebida com passagem de tempo pelo leitor (MCCLOUD, 1995). Diversas técnicas são usadas em imagens estáticas para indicar movimento como setas, pontilhado, uso de imagens repetidas e memória desvanecida (LOWE & SCHNOTZ, 2007). A diferença é que

enquanto a representação dinâmica fornece animações externas e explícitas, representações estáticas requerem um processo interno de geração de movimento. Logo, aprender através de imagens requer uma habilidade do aprendiz de inferir mudanças temporais (PAAS; VAN GERVEN *et al.*, 2007).

Hegarty (2004) completa afirmando que de fato somos capazes de animar mentalmente uma imagem, gerando um modelo mental dinâmico a partir de uma imagem. A questão é que a animação pode não exigir recursos cognitivos, uma vez que não são necessários esforços para construir um modelo mental dinâmico, pois ele é apresentado de maneira explícita. Em imagens deve haver uma integração, bem com uma série de inferências, para que se construa um modelo dinâmico, tal fato pode acarretar em um alto esforço cognitivo.

Animações podem explicitar informações dinâmicas que não estão disponíveis, ou que estejam de maneira implícita em imagens. Em contrapartida, a adição desta dimensão temporal pode vir a causar maior demanda cognitiva, podendo tornar mais difícil a assimilação da informação contida na animação (LOWE, 2003). Devido à natureza transitória da animação, aprendizes precisam assimilar a informação apresentada no quadro (*frame*) atual, relacionando com o que foi apresentado no quadro anterior e assim por diante. Como resultado pode ocorrer uma experiência de alto nível de carga extrínseca, prejudicando assim o aprendizado (LIN & ATKINSON, 2010).

Isto posto, consideramos que animações podem ser muito complexas ou muito rápidas para serem percebidas com precisão (TVERSKY; MORRISON *et al.*, 2002). Um dos possíveis motivos para o excesso de carga cognitiva demandado por uma animação é o fato dos aprendizes precisarem procurar por informações relevantes no quadro brevemente apresentado. Para contornar tal problema são usados os *Attention-cueing*, que são técnicas para dirigir a atenção do usuário. Esta sinalização pode ser feita com o uso de setas, círculos e cores (LOWE & SCHNOTZ, 2007) o que pode facilitar o processo de seleção de informação, reduzindo assim a carga extrínseca (LIN & ATKINSON, 2010). Aprofundando este ponto, Lowe apresenta dois tipos de contraste, o Visual e o Dinâmico, sendo este possível apenas em mídias dinâmicas. Contraste dinâmico se refere à mudanças de velocidade em uma animação, por exemplo, normalmente dirigimos nossa atenção para objetos se movimentando mais rapidamente (LOWE & SCHNOTZ, 2007). Contudo, Koning afirma que nem sempre o uso destes destaques ajuda na compreensão da instrução. Afirmando que estas sinalizações são úteis apenas em casos de animações complexas (DE KONING; TABBERS *et al.*, 2010).

Outra maneira de contornar o excesso de demanda cognitiva é oferecer ao usuário a possibilidade de controlar a animação através de um processo interativo. Segundo Hegarty (2004), aparentemente as demandas para animações com e sem interação são diferentes, pois em um caso onde não haja interação o usuário assiste de forma “passiva” a animação, ou seja, uma vez avançado um quadro sua informação não mais estará disponível para o usuário.

Em imagens estáticas, o usuário tem a possibilidade de re-inspecionar partes da imagem quantas vezes quiser. Para alcançar esta possibilidade de re-inspeção, e evitar a passividade do usuário, uma animação interativa possibilitaria aos usuários alterar a velocidade da animação para ir ao encontro com sua capacidade de compreensão bem como retornar a quadros ou trechos anteriores.

O grande problema é que parte-se do pressuposto que o aprendiz, além de estar motivado, sabe como usar a interatividade de maneira apropriada, ou seja, pressupõe-se que o aprendiz conhece o conteúdo e sabe qual a velocidade ideal, além de ter conhecimento acerca da ferramenta utilizada (na maioria dos casos um computador) (HEGARTY, 2004). Dallacosta completa:

Pouca ou nenhuma atenção tem sido dada ao que se chama de Pedagogia da Informática que leva em consideração o processo de ensino e aprendizagem, a organização do currículo e reflexão no relacionamento homem/máquina no aprendizado e na grande comunidade, além do desenvolvimento das habilidades de usar computadores completamente (DALLACOSTA; FERNANDES *et al.*, 1998, p.1).

Por vezes estas discussões geram sugestões de como deve ser uma animação instrucional eficaz. Pesquisadores como Mayer, Large e Weiss desenvolveram princípios, ou critérios para desenvolver animações instrucionais. Weiss criou com um fluxograma que visa auxiliar na escolha da mídia (estática ou dinâmica) (WEISS; KNOWLTON *et al.*, 2002). Da mesma forma Ayres aponta algumas sugestões, com base na teoria cognitiva, para tornar animações mais eficazes, dentre elas: separar em seções menores, permitir controle do usuário apresentar e evidenciar informações relevantes (AYRES & PAAS, 2007). Mas como o próprio Weiss afirma, são meras sugestões e não dogmas, até porque, voltando ao ponto inicial desta discussão, é impossível prever qual mídia é mais eficaz. Existem inúmeros fatores que influenciam diretamente os resultados, sendo impossível isolá-los.

A seguir algumas críticas sobre este tipo de pesquisa, evidenciando possíveis equívocos e brechas, afim de que evitá-los futuramente.

2.3.3 Críticas às pesquisas na linha do Design Instrucional

Propõe-se uma breve discussão crítica filosófica acerca das pesquisas *per se* mencionadas anteriormente, já que, segundo Tversky nem todas são confiáveis (TVERSKY; MORRISON *et al.*, 2002). Uma das principais críticas feitas a estes experimentos é relativo à quantidade de informação apresentada pela mídia estática em relação à mídia dinâmica. Em muitos casos as animações apresentam mais informações do que seu equivalente estático, tornando assim o teste inválido já que as mídias não são compatíveis (op. cit.).

Hegarty (2004), em revisão bibliográfica compara 20 experimentos quanto à eficácia de animações em relação à imagens estáticas. Aqui o autor notou muitos casos em que o uso de animações apresentava vantagens quanto ao uso de imagens, observando contudo, que a animação apresentava mais informação do que as imagens em muitos casos (op. cit.). Analisando profundamente esta questão, uma animação sempre irá conter mais informação do que uma imagem, ao passo que a mesma, por natureza, apresenta informação temporal explícita. Por mais que seja possível inferir estas mudanças temporais a partir de uma imagem, ela não está na mídia e sim na mente do aprendiz.

Outra crítica é relativa ao público escolhido para fazer o teste. Em experimento Johnson *et. al.* seleciona de maneira aleatória (psicólogos) para resolver problemas referentes à outra área do conhecimento (JOHNSON & MAYER, 2009). Acredita-se que provavelmente não era do interesse deste público aprender sobre o tema apresentado na animação, e que isso afetou de maneira decisiva os resultados de um teste.

Em outros casos, como Anglin (2004) e Medeiros (2010) comentam, os alunos não sabem como “usar” a animação, fato que muitas vezes não é notado nas pesquisas. Talvez por partirem do pressuposto que os aprendizes já tenham conhecimento sobre como “usar”, e mais do que isso, aproveitar uma animação. E justamente por este motivo acredita-se que o professor seja fundamental para apresentar a animação, sendo assim o tempo, bem como o ponto de atenção, dirigidos por ele.

Por fim, deve-se admitir uma premissa pedagógica elementar, de que há estudantes que preferem representações visuais e outros representações verbais, uns preferem representações estáticas enquanto outros se identificam mais com representações dinâmicas (MAYER & MORENO, 2002), fato não levado em conta pelos trabalhos analisados anteriormente.

Feita esta discussão, a seguir será apresentado o capítulo contendo noções básicas sobre química orgânica. A química, como será visto a seguir, já possui uma gama de aspectos gráficos sintáticos e semânticos bem definidos, não cabendo ao designer, pelo menos neste momento, fazer qualquer tipo de intervenção gráfica profunda, até por isso não aprofundou-se nos estudos sobre estes aspectos gráficos.

2.4) Química Orgânica Básica

O conceito de química orgânica adotado aqui limita-se a: “(...) é a parte da química que estuda os compostos que contém o elemento Carbono” (SOLOMONS, 1992). Os compostos com este elemento são o centro da vida nesse planeta, estando presentes nas moléculas que contém nossa informação genética (o DNA), no nosso corpo em forma de proteínas, vitaminas, lipídeos, carboidratos, ácidos, bem como em nosso sangue, músculos e pele (op. cit.). A química inorgânica, por exclusão, estuda os compostos que não contém Carbono, que são as substâncias que derivam de minerais.

A química orgânica é uma ciência de alta complexidade, isso se deve, como já fora mencionado, ao fato de que não ser possível visualizar os elementos químicos, átomos e moléculas, desta forma, modelos e regras são criados através de estudos, experimentos, testes e cálculos matemáticos complexos.

Pode-se perceber uma maior dificuldade principalmente na fase de “alfabetização” dos alunos, como Góis e Giordan mencionam - esses alunos, iniciantes em química, entram em contato com formas de representação de elementos, compostos, reações, sem paralelo com qualquer coisa que já tenham visto (GÓIS & GIORDAN, 2009). Barbosa (2004b) também adverte sobre a complexidade deste conteúdo com um argumento semelhante ao de Góis e Giordan. Afirmando que para muitos, o estudo de química orgânica é uma tarefa árdua, provavelmente por não notarem uma relação entre determinados tópicos e sua aplicação, e também pela existência de um elevado número de compostos orgânicos, ultrapassando 11 milhões.

Em 1892 em Genebra, Suíça, foi criada uma ONG denominada União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry*, IUPAC), que é a autoridade que define padrões de denominação dos compostos químicos. Desde sua criação a IUPAC tem revisado as regras de nomenclatura continuamente. Porém a IUPAC não define regras específicas para as representações gráficas de compostos

químicos, reações, nem tão pouco para as representações pictóricas de mecanismos de reação, sendo estes definidos através de convenções que por vezes variam de acordo com o autor e cultura local.

Atualmente admite-se que o conhecimento químico pode ser construído a partir de três dimensões da realidade: macroscópica, nanoscópica e simbólica. Essas representações são parte integrante do conhecimento químico e apresentam grande variedade, tais como modelos moleculares, estruturas químicas, fórmulas, equações e símbolos, as quais contribuem para a investigação dos fenômenos da natureza (HOFFMAN & LASZLO, 1991).

A seguir serão apresentadas as convenções gráficas mais utilizadas na química orgânica. Iniciando com as representações dos elementos químicos, em seguida dos compostos formados pela união destes elementos, posteriormente algumas das possíveis representações de reações e por fim, o foco deste trabalho, as representações dos mecanismos de reações.

2.4.1. Representações gráficas de elementos e compostos químicos

A química, como já mencionado, é uma ciência que depende diretamente do uso de modelos, símbolos para ser compreendida. Para tanto, existem uma série de símbolos e pictogramas que são usados para representar elementos químicos, ligações e compostos.

Antes dos símbolos propriamente ditos, vamos apresentar a primeira e mais primitiva forma de representação de elementos químicos que raramente é mencionada na literatura de química, porém não deixa de ser um tipo de representação. É a representação que Twyman (1979) chamaria de puramente verbal, ou seja, apenas com o uso de letras, formando palavras.

Seria uma simples descrição do composto, a maneira como o químico descreveria os átomos, suas ligações, os ângulos formados por estas, assim por diante. Por exemplo, o Metano seria descrito como um composto com: *“Um carbono central, ligado a quatro moléculas de hidrogênio formando um ângulo de cerca de 109° entre as ligações”*.

Este tipo de representação é raramente usada, uma vez que demanda muito tempo para ser escrita além de exigir muito do interpretante. Observando que o composto usado no exemplo anterior é o mais simples dentre os compostos orgânicos. Neste caso conseguimos de certa forma formar um modelo mental do composto, agora, ao imaginar

grandes cadeias com dezenas de moléculas de Carbono percebe-se facilmente que esse tipo de representação se torna inviável.

Partido da necessidade de representar de maneira mais rápida e clara os elementos químicos, foram criados símbolos químicos, assim, não há necessidade de escrever por extenso o elemento Carbono por exemplo, usamos apenas a letra C.

Símbolos químicos são, em sua essência, representações contendo uma ou duas letras que identificam um elemento químico. A convenção estipula que quando o símbolo consiste em apenas uma letra, ela deve ser em caixa alta, e quando for composto por duas letras, a primeira letra é em caixa alta e a segunda em caixa baixa.

Cada elemento químico possui um símbolo único que o identifica graficamente, e este símbolo é adotado mundialmente, independente da língua, cultura ou alfabeto. Os símbolos adotados atualmente foram organizados pela primeira vez pelo químico sueco Jöns Jakob Berzelius em 1811 na conhecida tabela periódica, que nesta época continha uma quantidade de elementos consideravelmente menor do que atualmente.

Estas representações dos elementos químicos são abreviações do nome do elemento em latim, como o símbolo “Pb”, abreviatura do nome *plumbum*, chumbo em latim. A tabela a seguir mostra alguns elementos e seu respectivo símbolo.

Elemento	Símbolo
Carbono	C
Hidrogênio	H
Oxigênio	O
Chumbo	Pb

Tabela 1 - Elementos químicos e seus respectivos símbolos

Fonte: Arquivo Pessoal

Interessante notar do ponto de vista do Design da Informação que inicialmente a representação de um elemento pode ser caracterizada como uma abreviatura, porém, deve se admitir que estas representações tomam proporções diferentes, sendo encaradas hoje como um pictograma, um desenho ou um símbolo. Assim deixam de ser representações verbais para serem pictóricas.

Existe apenas um símbolo para cada elemento químico, porém, existem diversas maneiras de se representar compostos de Carbono, a mais simples delas é a fórmula condensada.

Fórmula condensada

A fórmula condensada, ou estrutura condensada, ou ainda fórmula molecular como pode ser chamada, é a representação mais simples de um composto. Se caracteriza por apresentar apenas os símbolos dos átomos que constituem o composto, omitindo as ligações entre eles bem como a tridimensionalidade da molécula. Essa fórmula seria uma abreviação da fórmula estrutural (vista a seguir) por conveniência, omitindo as linhas de ligação (STREITWEIESER JR. & HEATHCOCK, 1981).

No exemplo a seguir pode-se notar a simplicidade (gráfica) da representação, neste caso do Hexano (seguindo a nomenclatura IUPAC). Podendo ser escrita de duas maneiras; expandida, apresentando separadamente os Carbonos e os átomos a eles ligados, ou apenas informando a quantidade de átomos que compõe a molécula.

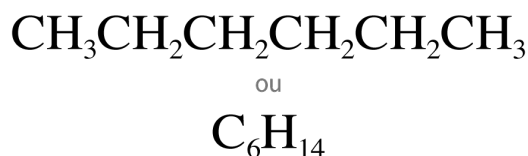


Figura 18 - Fórmula condensada

Fonte: Arquivo Pessoal

Bruice (2006) afirma que esta representação se caracteriza por ser uma lista dos átomos ligados a um Carbono particular (ou Hidrogênio ou Oxigênio), com subscrição para indicar o número de átomos.

Ainda usando o exemplo da Figura 7, Barbosa (2004a) aponta que além das maneiras citadas, é possível escrever esta fórmula da seguinte forma: $\text{CH}_2[\text{CH}_2]_4\text{CH}_3$. Neste caso a unidade que se repete, o (CH_2) , é colocada entre colchetes, e um índice é adicionado para indicar o número de unidades presentes.

Esta fórmula omite as ligações entre átomos mostrando apenas a quantidade de átomos envolvidos, seria então uma representação fraca, ruim? A resposta é simples. Depende. Como será possível averiguar no decorrer da leitura, cada representação gráfica tem uma função, e é muito importante ter essa noção em mente, pois assim, não existe representação melhor ou pior, e sim a mais adequada. A fórmula condensada ou fórmula molecular, é ideal para quando se deseja apenas informar quantos átomos possui um determinado composto.

Havendo a necessidade de mostrar as ligações existente entre átomos, faz-se uso de outra representação, a chamada Kekulé ou de traço. Antes é preciso conhecer como se representam graficamente as ligações e elementos químicos.

Representando graficamente ligações químicas

Uma das teorias mais importantes na química orgânica é a teoria estrutural proposta por August Kekulé, Archibald Couper e Alexander Butlerov entre 1858 e 1861 (SOLOMONS, 1992). A teoria dispunha de duas premissas centrais - (1) A de que todos os elementos de um composto podem formar uma quantidade fixa de ligações, e que essa propriedade se chamava valência; (2) o Carbono consegue usar mais de uma valência para formar ligações com outros átomos de Carbonos. Será tratado dessas ligações citadas na teoria de Kekulé.

Existem diversos elementos na natureza como o Carbono, o Hidrogênio, o Oxigênio, etc. Esses elementos se conectam uns aos outros através das chamadas ligações químicas. A explicação para como se formam essas ligações químicas é extremamente complexa, desta forma, para este trabalho limitou-se a explicação de ligações químicas simplesmente para a forma, ou a força, que une elementos uns aos outros (BRUICE, 2006).

Retomando, e explicando, em outras palavras a teoria de Kekulé, ela basicamente diz que os elementos que compõe um composto fazem uma quantidade limitada de ligações, por exemplo, o Carbono forma quatro ligações, o Hidrogênio faz apenas uma ligação e o Oxigênio duas, assim por diante. Esta propriedade que indica a quantidade de ligações que um elemento pode formar se chama Valência, logo o Oxigênio, como forma duas ligações, é *divalente*, um elemento que pode fazer três ligações é *trivalente* e o Carbono, que pode formar quatro ligações, é *tetravalente*.

A teoria de Kekulé se torna indispensável quando se analisa compostos ditos Isômeros - que são compostos que possuem as mesmas moléculas na mesma quantidade, por exemplo dois Carbonos, seis Hidrogênios e um Oxigênio, porém o arranjo das ligações entre essas moléculas é diferente - o que acarreta em compostos completamente diferentes.

Como afirmou-se previamente, o Carbono pode formar quatro ligações, portanto é tetravalente, porém, o Carbono tem uma peculiaridade que permite com que ele junte uma ou duas valências para se ligar com outro Carbono formando as chamadas ligações duplas ou triplas, existindo pictogramas para representar graficamente as ligações.

A tabela abaixo apresenta os pictogramas usados para representar as ligações e a medição da valência para cada tipo de ligação.

Tipo de ligação	Valência	Representação Gráfica
Ligação Simples	Univalente	$\text{C} - \text{C}$
Ligação Dupla	Bivalente	$\text{C} = \text{C}$
Ligação Tripla	Trivalente	$\text{C} \equiv \text{C}$

Tabela 2 - Representações gráficas de ligações químicas

Fonte: Arquivo Pessoal

As representações acima são utilizadas nas fórmulas de Kekulé que também é chamada de fórmula de traço, a mais usada na Química. Esta fórmula possui algumas semelhanças com a fórmula condensada, havendo porém a adição de elementos gráficos representando as ligações entre os átomos.

Estrutura de Kekulé ou de traço

As fórmulas que serão vistas a partir daqui estão enquadradas dentro de uma classificação mais ampla chamada fórmulas estruturais. A fórmula ou estrutura de Kekulé recebe o nome do seu criador, August Kekulé. O jovem viveu no século XIX, e hesitava entre as profissões de arquitetura e química, foi um estudioso de estruturas moleculares, assim, viu a necessidade de um método para apresentar sua rotina e montar modelos moleculares que poderiam ser usadas para sua aprendizagem (HOFFMAN & LASZLO, 1991). Ele projetava essas imagens em telas planas e usava como fórmulas gráficas em suas publicações.

Eram imagens graficamente simples, usando apenas os símbolos já conhecidos dos elementos químicos, porém, representando também as ligações formadas entre essas ligações. Esse tipo de representação permite mostrar também a sequência de ligações que ocorre entre átomos, possibilitando também, em alguns casos, por mais que de maneira primitiva, visualizar os ângulos formados entre as ligações.

Mas mesmo disponibilizando todas essas informações, ainda se trata de uma representação gráfica simplificada. A figura a seguir apresenta o mesmo composto representado na Figura 7, o Hexano, mas usando a fórmula de linhas ou de Kekulé.

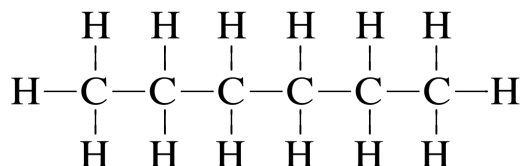


Figura 19 - Hexano representado com fórmula de traços

Fonte: Arquivo Pessoal

Nesta representação os elementos que eram simplificados na fórmula condensada adicionando os traços para representar os pares de elétrons que formam as ligações entre os átomos. Enquanto a fórmula condensada omite as ligações essa fórmula as deixam claras. A visualização das ligações tem extrema importância dentro da química orgânica. Com a fórmula de traço podemos observar os diversos compostos isômeros que possuem a mesma fórmula condensada. A Figura 9 representa dois compostos isômeros, suas fórmulas condensadas são idênticas, $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$, porém observa-se facilmente que são compostos com estrutura diferentes.

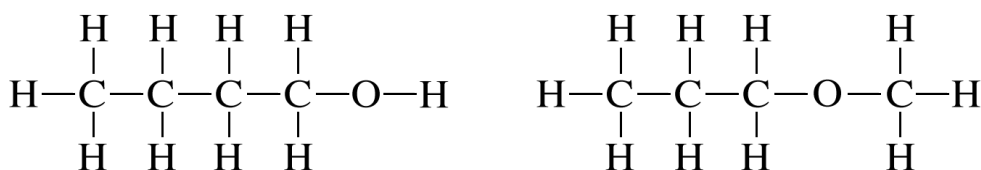


Figura 20 - Compostos isômeros

Fonte: Arquivo Pessoal

A descoberta do fenômeno da isomeria foi fundamental para o desenvolvimento da química orgânica, pois era literalmente a diferença entre a vida e a morte, uma vez que é possível encontrar compostos isômeros onde um é benéfico à saúde e outro considerado veneno. No exemplo anterior representou-se apenas dois isômeros para uma mesma fórmula molecular, mas há casos em que uma mesma fórmula condensada pode vir a apresentar dezenas de isômeros.

Este tipo de representação gráfica é a mais utilizada entre químicos desde sua criação. Graças a ela é possível nomear os compostos de acordo com a IUPAC, o que para grande maioria dos compostos seria impossível observando apenas a fórmula condensada.

Contudo, essa fórmula não apresenta informações como volume da molécula ou ângulos formados entre as ligações. Mais uma vez justifica-se essas omissões devido à

função da fórmula, que neste caso é apenas de mostrar as ligações permitindo que o leitor identifique rapidamente o tipo de ligação entre os átomos.

Percebeu-se em análise de literatura, que químicos ao representarem compostos combinam fórmulas estruturais. Um bom exemplo é o apresentado na Figura 10. Nesse exemplo nota-se a presença dos traços representando as ligações entre moléculas, caracterizando a fórmula de traço, porém nem todas as ligações são apresentadas, de certa maneira condensa-se algumas ligações.

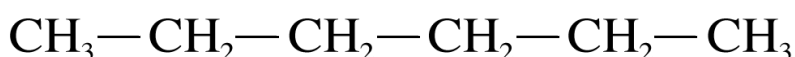


Figura 21 - Variação da fórmula de traço

Fonte: Arquivo Pessoal

Este composto é o mesmo representado na Figura 8, nota-se que é eliminado uma quantidade considerável de ruídos gráficos em relação à figura anterior. Neste caso foram eliminadas todas as ligações entre Carbono-Hidrogênio, o motivo desta omissão é que, devido às valências já serem conhecidas pelos químicos, fica implícita essa informação. A vantagem dessa modificação da fórmula de traço é que ela apresenta apenas as ligações relevantes.

Existem ainda outras pequenas variações dessa fórmula, apresentando pequenos ângulos entre as ligações como é o caso da figura a seguir, onde compara-se um composto com esse pequeno ângulo e o outro com as linhas retas. Notando apenas ao detalhe de que, quando se representa as ligações anguladas nem sempre se apresenta fielmente o ângulo existente.

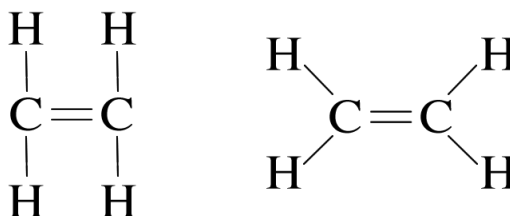


Figura 22 - Variação de ângulo na fórmula de traço

Fonte: Arquivo Pessoal

Não há uma regra rígida que limite este tipo de representação, o químico tem uma certa liberdade ao escrever a fórmula estrutural, assim, o que caracteriza esse tipo específico de representação é a presença de traços representando ligações entre átomos

mesmo que algumas não sejam mostradas. Desta forma, pode-se escrever a fórmula da Figura 11 da seguinte maneira ainda; $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Fórmula de pontos

A fórmula de pontos se assemelha bastante à fórmula de traço, a diferença notável é que ao invés de usar uma linha para representar o par de elétrons envolvidos em uma ligação ela usa pontos, por isso o nome da fórmula. Estes pontos ficam juntos ao símbolo dos átomos a quem pertence. Na figura abaixo é possível observar o mesmo composto representado na Figura 7 mas aqui com a fórmula de pontos.

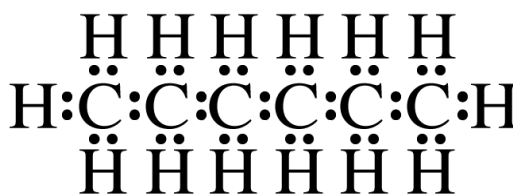


Figura 23 - Fórmula de pontos

Fonte: Arquivo Pessoal

Deve-se levar em conta as valências de cada átomo. Quando se compartilha um elétron com outro átomo se forma a ligação, conhecendo esta definição já prevemos qual a principal função dessa representação. Seu uso é recomendado quando se deseja evidenciar os elétrons pertencentes a um átomo, pois são justamente estes elétrons os responsáveis pelas ligações.

Os elétrons que fazem ligações são os chamados elétrons livres. Um elemento só se estabiliza quando não contém elétrons livres. Por vezes se une a fórmula de traço com a de pontos, representando os pontos apenas quando se deseja evidenciar uma determinada porção da molécula, como no exemplo abaixo.

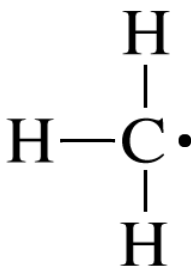


Figura 24 - Radical Metila

Fonte: Arquivo Pessoal

A atenção do químico ao observar essa estrutura é direcionada para o ponto livre, pois ele sabe que esse composto é instável e que se ligará a algum átomo facilmente, para o designer o ponto é uma forma de dirigir a atenção para um determinado ponto.

Segundo Bruice (2006), escrever fórmulas de ponto é um ato monótono e demorado, por isso, essa representação é muito pouco usada. Faz-se uso dos pontos em casos como o do exemplo anterior, apenas como um elemento de destaque.

Pensando em agilidade na escrita de fórmulas, químicos desenvolveram um novo tipo de representação ainda mais simplificado graficamente, a fórmula de linhas.

Fórmula de linha de ligação

Como Hoffmann (1991) afirma, é crucial que químicos consigam comunicar facilmente as informações estruturais de um composto entre eles, e normalmente essa comunicação se dá via mídias com apenas duas dimensões, principalmente o papel. Assim, químicos precisam de uma forma que seja rápida e eficiente para escrever as estruturas das moléculas, para tanto foi criada a fórmula de linha de ligação ou simplesmente fórmula de linha.

Esta representação é a mais rápida de ser escrita, pois se resume apenas ao esqueleto do Carbono. A fórmula de traço apresentada abaixo já foi simplificada, retirando as ligações feitas pelo hidrogênio, em destaque apontamos o que seria o esqueleto do Carbono.

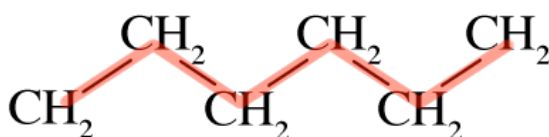


Figura 25 - Esqueleto do Carbono

Fonte: Arquivo Pessoal

A fórmula de linha desse composto se resumiria apenas ao traço evidenciado na figura acima. E abaixo a fórmula de linha da Figura 21.



Figura 26 - Fórmula de linha

Comparando as Figuras 19 e 26, que representam o mesmo composto, podemos notar as diferenças das representação, bem como o aumento no grau de simplicidade gráfica. A fórmula omite todos os Carbonos e Hidrogênios ligados a eles. Os átomos de Carbono estão localizados nas extremidades das linhas e nas interseções entre elas.

Se presume o número de átomos de Hidrogênio presente na estrutura levando em conta a valência do átomo de Carbono, se escrevendo todos os elementos com exceção do Carbono do Hidrogênio.

Esta forma em “zigue-zague” que a linha desenha é feita propositadamente, já que é necessário obter ângulos agudos para nos indicar a presença de um Carbono. Estes ângulos não representam os reais ângulos existentes entre as ligações. Notando contudo, que em alguns casos se tenta sim comunicar os ângulos entre as ligações, como o da figura a seguir.

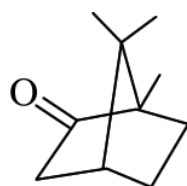


Figura 27 - Fórmula de linha informando ângulos

Fonte: (HOFFMAN & LASZLO, 1991).

Na figura é possível observar o símbolo do Oxigênio e também a tentativa de informar os ângulos que se formam entre as ligações. O interessante é perceber que há necessidade de se evidenciar várias perspectivas de um composto em apenas uma representação, o que por vezes acarreta em pequenas distorções. Artifício semelhante era usado pelos egípcios - no caso da figura humana a cabeça e as pernas são apresentadas em uma vista que pode-se estipular como sendo lateral, enquanto o tronco é representado em uma vista frontal.



Figura 28 - Distorções feitas pelos egípcios

Fonte: Website Brooklyn Museum ()

A fórmula de traço por vezes também faz estas distorções propositas da realidade para apresentar toda a informação da molécula. Se os egípcios representassem o tronco da pessoa na vista lateral um dos braços ficaria omitido, mesma coisa ocorreria nas fórmulas químicas, alguns elementos ficariam omitidos, e neste caso isso seria inaceitável pois afetaria a leitura do composto.

Por vezes existe a necessidade de se mostrar os ângulos que se formam entre as ligações de maneira um pouco mais fiel, mas mantendo uma certa agilidade na escrita, para isso se dispõe de uma fórmula chamada fórmula de cunha e cunha tracejada.

Fórmula de cunha e cunha tracejada

Fora mencionado anteriormente a questão da fidelidade dos ângulos formados pelas ligações entre moléculas que será esclarecida esta questão. Os compostos químicos são formas tri-dimensionais e ocupam um determinado volume no espaço, por mais que sejam pequenos a nível nanoscópico. Observando as representações gráficas anteriores por vezes pode-se ter uma noção errônea da disposição das moléculas no espaço, por mais que hajam algumas tentativas de representá-las.

Assim, foi criado um artifício para auxiliar a representação dessas perspectivas. O artifício da cunha (◄) e cunha tracejada (◄◄), que dá o nome da fórmula (BRUICE, 2006). As cunhas são representações gráficas de ligações químicas, assim como o traço. A cunha indica uma ligação que se projeta para fora, como que se saísse do plano do

papel, apontando na direção do leitor. Já a cunha tracejada indica que a ligação está para o interior, ou seja, na direção oposta do leitor.

Têm-se ainda o traço simples, o mesmo usado na fórmula de traço, este sendo usado para representar ligações que estejam no plano do papel.

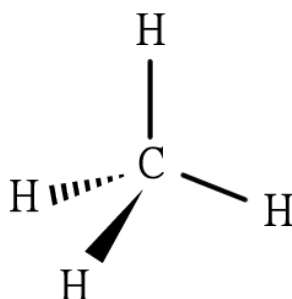


Figura 29 - Fórmula de cunha e cunha tracejada

Fonte: Arquivo Pessoal

A fórmula de cunha e cunha tracejada, ou somente fórmula de cunha como pode ser chamada, tem uma preocupação maior em mostrar a perspectiva da molécula em relação à fórmula de traços. Mas assim como a fórmula de traço, ela distorce a molécula para que possamos visualizar toda a informação, desta forma, os ângulos só se tornam mais fiéis se o leitor souber o que as cunhas representam na construção da molécula.

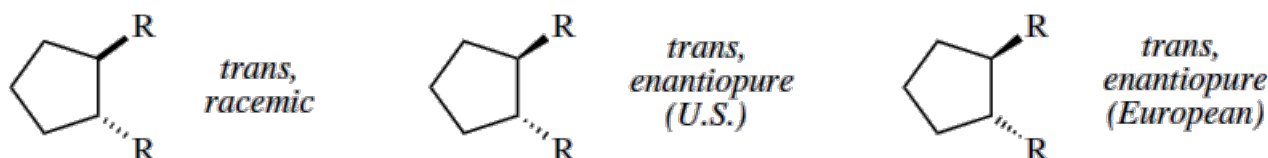


Figura 30 - Diferentes representações usando cunhas

Fonte: Arquivo Pessoal

O exemplo acima mostra as representações de um mesmo composto em diferentes partes do mundo. A figura aponta a convenção usada nos Estados Unidos e a adotada na Europa. A diferença está no desenho das cunhas. No primeiro caso a representação é em forma de traço porém mais espesso. No padrão americano a cunha tracejada tem a parte larga apontada na direção do radical (este radical pode ser qualquer elemento que possua valência compatível com esta ligação) sendo as duas cunhas tracejadas e preenchidas iguais no que se trata da forma e direção. Enquanto o padrão europeu a parte com ponta da cunha tracejada é que está direcionada para o radical, sendo assim uma cunha diferente da outra.

Analisando de um ponto de vista técnico, levando em conta conceitos de desenho como ponto de fuga, o padrão europeu seria mais fiel à realidade uma vez que respeita essa regra. Mas ainda assim não conseguem, de maneira completa, mostrar a perspectiva e ângulos formados na molécula. Conseguir um design que de fato consiga representar todas essas informações é algo extremamente complexo pois o que se busca representar é extremamente complexo. Talvez a representação que melhor represente perspectiva e ângulos das moléculas seja o modelo de bola e vareta, tópico a seguir.

Modelo bola e vareta

As representações anteriores se caracterizam por serem relativamente simples e rápidas de serem escritas e cada uma possui função específica, um determinado aspecto que se deseja comunicar. O modelo apresentado a seguir tem por função representar fielmente os ângulos e perspectivas que a fórmula de cunha sugeria.

Antes de apresentar o modelo necessita-se compreender a estrutura tridimensional das ligações feitas por um átomo de Carbono. Em 1874 as fórmulas originadas por Kekulé, bem como outros químicos como Couper e Butlerov foram expandidas para três dimensões no trabalho de J. H. van't Hoff e J. A. Bell, que propunham que o átomo de Hidrogênio, no Metano por exemplo, estão arranjados de uma maneira que apontariam para os vértices de um tetraedro, estando o Carbono no centro deste (SOLOMONS, 1992), ver Figura 20.

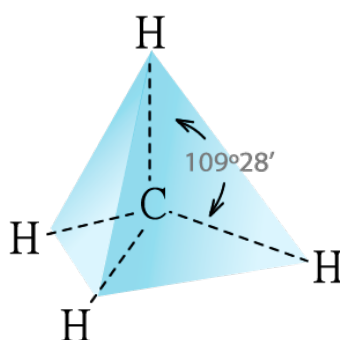


Figura 31 - Estrutura tetraédrica do metano

Fonte: Arquivo Pessoal

Com base nessa concepção foram criados os chamados modelos atômicos físicos, que são estruturas físicas utilizadas por químicos para compreender melhor a real estrutura de uma molécula.

Tem-se então esferas de diferentes cores representando os átomos e hastes representando ligações. As cores das esferas são usadas para diferenciar elementos, havendo normalmente uma tabela para identificar a correspondência entre a cor e o elemento designado, como na tabela a seguir.

Elemento	Cor Padrão
Carbono	 (preto)
Hidrogênio	 (branco)
Oxigênio	 (vermelho)
Nitrogênio	 (azul)

Tabela 3 - Cores usadas para designar elementos em um modelo atômico

Fonte: Arquivo Pessoal

Assim como as convenções usadas nas fórmulas citadas, a convenção do uso de cores pode variar de acordo com o autor, por isso é importante que se anexe sempre que possível uma legenda como esta para auxiliar o leitor. Na grande maioria dos casos, as cores do Carbono, Hidrogênio e Oxigênio são as apontadas nesta tabela.

Na figura seguinte têm-se o modelo atômico físico. Normalmente são feitos de plástico, eventualmente em modelos maiores usa-se isopor para não ficarem muito pesados. Note os ângulos formados entre as ligações, representadas por hastes cinzas, comparando posteriormente com a Figura 29.

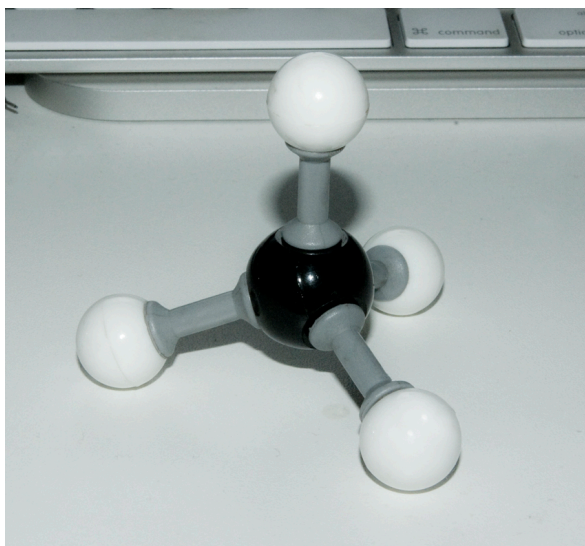


Figura 32 - Modelo atômico físico

Fonte: Arquivo Pessoal

O tamanho das esferas variam, observando a figura acima percebe-se que a esfera preta é maior que a branca. O motivo para isso é que, além de mostrar as moléculas envolvidas, as ligações e os ângulos formadas entre elas, o modelo atômico consegue informar, proporcionalmente, os pesos dos átomos. Conclui-se que o Carbono é mais pesado que o Hidrogênio por mais que não se saiba exatamente seus pesos moleculares.

Os modelos atômicos são bastante usados em sala de aula, permitindo ao professor apresentar com fidelidade estrutura tridimensional do composto. Contudo há casos em que é necessário registrar o modelo atômico físico em uma superfície como o papel ou tela de um computador em apenas duas dimensões. Deste modo temos o modelo de bola e vareta, que seria uma representação gráfica bi-dimensional que infere ao modelo atômico físico 3D, como na figura abaixo.

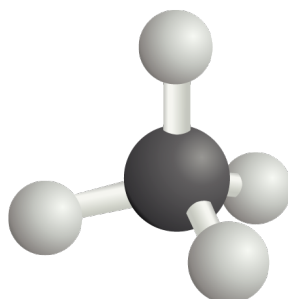


Figura 33 - Modelo de bola e vareta

Fonte: Arquivo Pessoal

Este é o modelo de bola e vareta do composto apresentado com modelo atômico físico na Figura 21. Deve-se notar que é uma representação graficamente superior, se comparada com as outras representações apresentadas. Para se desenhar uma representação como esta leva-se mais tempo e exige mais capricho, e na grande maioria das vezes é feita com o auxílio de um computador.

O grande problema que há nesse modelo é que ele só é eficiente se o leitor já conhecer o modelo atômico físico, caso contrário, ele pode não conseguir interpretar a estrutura representada. As funções desse modelo são portanto, em primeiro lugar, informar a estrutura espacial da molécula e depois sugerir os pesos relativos dos átomos.

Há casos em que o químico se usa de bolas e varetas mas não apresentam os ângulos formados pelas ligações, provavelmente desejando apenas mostrar os tipos de ligações entre os átomos e os pesos relativos, o que não invalida a variação do modelo, apenas muda o foco.

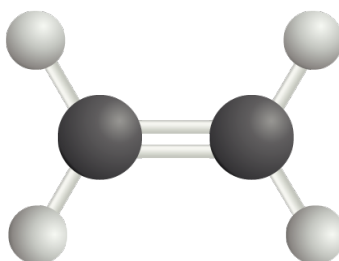


Figura 34 - Modelo de bola e vareta sem perspectiva

Fonte: Arquivo Pessoal

Este exemplo seria como um aperfeiçoamento da fórmula de traço, substituindo os símbolos por bolas e os traços por figuras com volume, com certeza mais atraente visualmente, mas se o propósito for apenas comunicar, deixando de lado por exemplo fatores motivacionais e estéticos, este composto poderia tranquilamente ser representado com outra fórmula mais simples.

Em alguns casos devido a fatores pragmáticos como custo de impressão, limitar-se à apenas uma cor como na figura abaixo.

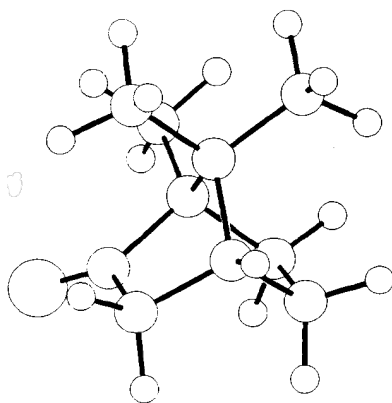


Figura 35 - Modelo de bola e vareta monocromático

Fonte: (HOFFMAN & LASZLO, 1991) p.5

Neste caso a convenção de cores é descartada e o leitor deve inferir o elemento que a bola representa a partir, por exemplo, da posição relativa da mesma, ou pela valência. Outra dica são os próprios tamanhos das bolas uma vez que nos indica o peso dos átomos.

É portanto um modelo que exige mais do leitor, pois há a necessidade de se fazer diversas inferências e resgates de memória para compreendê-lo. Existem outros casos de modelos de bola e varetas em que se usam tons de cinza facilitando um pouco a leitura, principalmente para o iniciante, mas o uso de cores é o mais recomendado para evitar interpretações errôneas.

Hoffmann (1991) afirma que quanto mais experiente o químico, mais ele tende a preferir as representações graficamente mais simples, como a fórmula de traço. Provavelmente porque químicos são altamente pragmáticos e prezam pela comunicação de maneira rápida e eficiente à qualidades estéticas. Curiosamente, pessoas como o próprio Hoffmann (e o autor) consideram essas representações simplificadas como uma forma de arte, geniais em diversos aspectos.

Nomenclatura de compostos orgânicos

Até o século XIX os compostos orgânicos eram nomeados de maneira não sistemática, sendo utilizados prefixos latinos e gregos, causando confusão e até mesmo ambiguidades. Algumas dessas confusões ocorriam principalmente quando se tratava de compostos isômeros. Nessa época, e em função dessa dificuldade é que foi criada a

IUPAC, que visava estabelecer regras de nomenclatura a serem utilizadas por toda a comunidade científica (BARBOSA, 2004b).

O método de estabelecer nomes aos compostos químicos determinada pela IUPAC é chamado nomenclatura sistemática ou ainda nomenclatura lupac (BRUICE, 2006). Um dos principais objetivos da nomenclatura é evitar ambiguidades, e como vimos previamente, existem cerca de 11 milhões de compostos químicos, tornando impossível para um químico decorar ou memorizar os nomes específicos de todos os compostos.

Em suma existem regras para se “compor” o nome de um composto, unindo um prefixo a um sufixo através de um “conector”. O prefixo informa a quantidade de átomos de Carbono presente no composto. Existindo um Carbono o prefixo designado é “*met*”, se forem dois Carbonos “*et*”, três Carbonos “*prop*”, assim por diante. O sufixo indica a família a qual o composto pertence (Hidrocarboneto, Álcool, Cetona, Amina, etc.). Se for um Hidrocarboneto o sufixo é “*o*”, sendo um Álcool o sufixo é “*ol*”, havendo assim, um sufixo para cada família. Finalmente têm-se um elemento textual que une o prefixo ao sufixo, esse elemento textual indica se o composto possui ligações simples, duplas ou triplas, sendo escritas respectivamente, “*an*”, “*en*” e “*in*”.

Exemplificando; ao nomear o elemento com a fórmula condensada CH_4 , contaríamos a quantidade de Carbono, um, logo prefixo “*met*”, as ligações são todas simples (informação implícita) logo o conector é “*an*”, e por ser um Hidrocarboneto o sufixo é “*o*”, juntando as partes formamos o nome do composto - Metano. Quanto mais complexa a molécula mais difícil é nomeá-la, pois envolve outras regras.

Concluindo esta parte referente às representações gráficas de moléculas em química orgânica salienta-se que cada fórmula ou modelo tem uma finalidade específica, um determinado aspecto que se deseja informar, omitindo por vezes outros. À medida que foram apresentadas as fórmulas e modelos, a complexidade gráfica foi aumentando junto com a quantidade de informações explícitas na representação. Ao passo que a complexidade gráfica diminui (i.e. fórmula de linha) sua complexidade intelectual aumenta, já que a quantidade de informações implícitas é muito maior, exigindo do leitor mais conhecimento pré adquirido para conseguir fazer sentido e compreender a representação.

A tabela a seguir faz um comparativo entre as representações, de um mesmo composto, usando as fórmulas e modelos apresentados anteriormente.

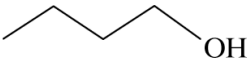
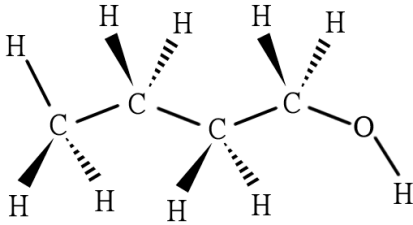
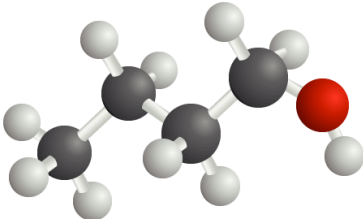
Representação	Exemplo
Nomenclatura IUPAC	Butanol
Nome comum	Álcool butílico
Fórmula condensada	$C_4H_{10}O$ ou C_4H_9OH ou $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$
Fórmula de traços	$ \begin{array}{ccccccc} & H & & H & & H & & H \\ & & & & & & & \\ H & -C & - & C & - & C & - & C & -O-H \\ & & & & & & & \\ & H & & H & & H & & H \end{array} $
Fórmula de pontos	$ \begin{array}{ccccccc} & H & & H & & H & & H \\ & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ H & :C & : & C & : & C & : & C & :O:H \\ & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ & H & & H & & H & & H \end{array} $
Fórmula de linha	
Fórmula de cunha	
Modelo de bola e vareta	

Tabela 4 - Comparativo entre representações

Fonte: Arquivo Pessoal

Podemos confirmar que a química orgânica é uma disciplina que depende muito da utilização de representações gráficas em sua comunicação, podendo até ser considerada uma arte como Hoffmann (1991) sugere, pois o químico ao desenhar uma molécula faz adaptações, escolhe peculiaridades de um determinado modelo, une modelos, faz abstrações da realidade e por fim consegue de fato se comunicar efetivamente.

Conhecendo as fórmulas e modelos será apontado agora como se representa graficamente reações químicas e posteriormente mecanismos de reações.

2.4.2) Representações gráficas de reações químicas

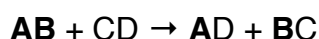
Segundo Streitwieser (1981) existem dois principais componentes na química orgânica - estrutura e reações. Já fora apresentado o primeiro componente - Símbolos, fórmulas e modelos, que nos permitem compreender a estrutura de uma molécula.

Uma vez assimilados os conceitos, regras e convenções das representações gráficas dos elementos e compostos químicos, e entendido as especialidades de cada fórmulas, têm-se o conhecimento necessário para compreender o segundo componente da química, as reações.

Reações químicas são transformações na matéria na qual ocorrem mudanças de caráter qualitativo na composição química de uma ou mais substâncias. Neste panorama temos o(s) reagente(s) que reagem formando um ou mais produtos. Estas reações entre compostos se dá primordialmente através da quebra e formação de ligações entre os compostos que participam da mesma (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

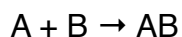
Muitas reações químicas são conhecidas por converter uma única estrutura em outra, mas deve-se notar que nem sempre ocorre a simples transformação de um composto em outro, existem quatro categorias em que se enquadram todas as reações químicas (op. cit.).

- **Reação de Substituição:** este tipo de reação se caracteriza pela substituição de um grupo funcional ³ por outro, exemplificando um grupo com uma letra e a união de duas letras como sendo um composto teríamos algo como:

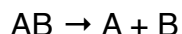


- **Reação de Adição:** podendo também ser chamada de reação de síntese, estas reações tem como peculiaridade o fato de todas as partes que compõe o reagente formarem apenas um produto.

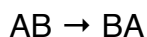
³ Grupo Funcional são compostos orgânicos com estrutura química semelhante, havendo por consequência, comportamento químico semelhante.



• Reação de Eliminação: aqui ocorre o inverso de uma reação de adição. Enquanto na anterior dois ou mais reagentes formam um produto, aqui um único produto dá origem a dois ou mais substâncias.



• Rearranjo: é quando uma molécula apenas reorganiza suas partes constituintes, ou seja, quebra algumas ligações e formam outras porém continua sendo apenas um composto, o produto é isômero do reagente. Isso pode ocorrer quando se aquece uma molécula por exemplo.



Conhecendo os possíveis tipos de reações nota-se que nem sempre um único reagente se transforma em outro, um erro comum segundo Solomons.

Assim como nos elementos e compostos químicos, onde temos símbolos e convenções para sua representação gráfica, existe a possibilidade de se representar graficamente uma reação química. Ao exemplificar os tipos de reações químicas anteriormente usou-se o sinal gráfico “+”, proveniente da matemática, para indicar a união entre compostos e uma seta “→” para separar os reagentes dos produtos.

Esta são apenas duas das convenções utilizadas para escrever uma reação química, existem diversas outras para indicar temperatura, estado do composto, etc. Contudo, será apresentado apenas os parâmetros básicos para compreensão de como ocorrem as reações.

Como foi visto anteriormente, existem diversas maneiras de se representar compostos químicos. Para ilustrar graficamente reações químicas faz-se uso destas mesmas fórmulas e modelos. A seguir ilustrou-se como seria representada a equação de uma reação química usando algumas das fórmulas apresentadas anteriormente.

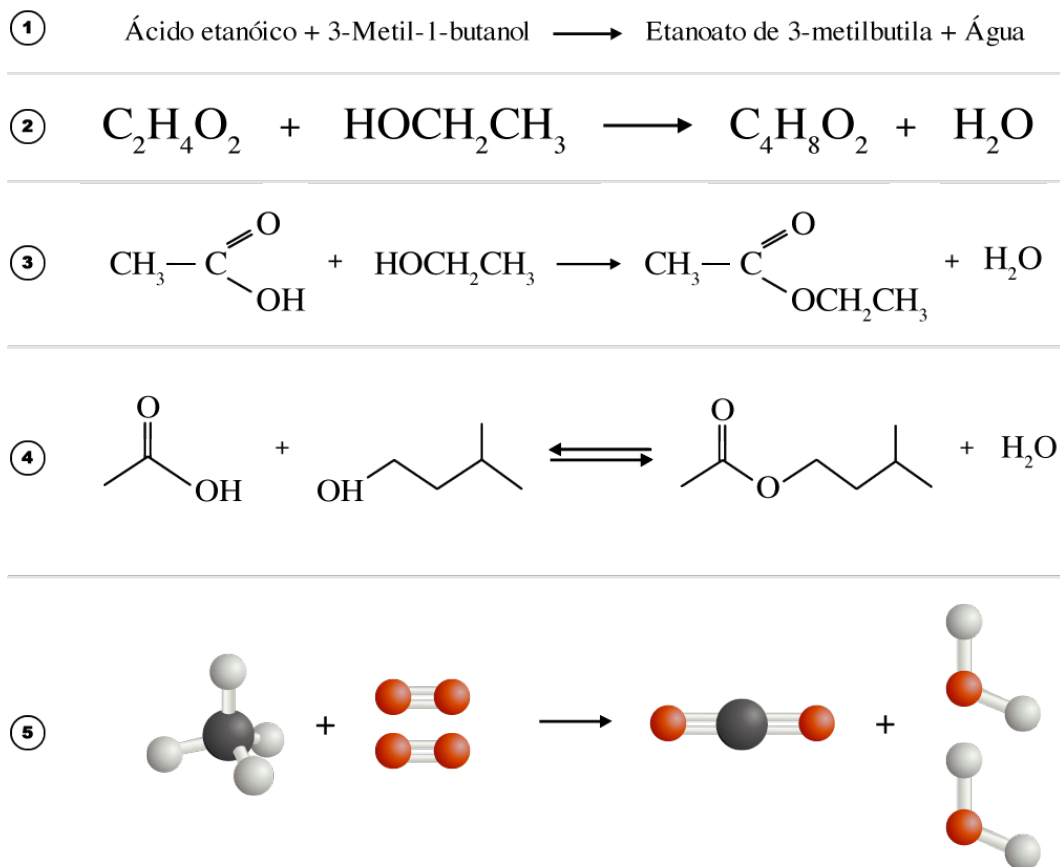


Figura 36 - Exemplos de possíveis representações gráficas de reações

Fonte: (SOLOMONS & FRYHLE, 2001) adaptado pelo autor.

É interessante notar que todas as reações seguem uma regra muito simples postulada por Lavoisier onde “nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Logo a mesma quantidade de átomos encontrados nos reagentes estão nos produtos, por mais que estejam em compostos diferentes.

Observando a reação 3 na Figura 36, é possível verificar que o autor omite algumas ligações do primeiro reagente e omite todas no segundo. O motivo para essa omissão é que, para a análise desta reação em particular não é conveniente evidenciar todas as ligações pois deixaria o desenho poluído visualmente, além de que o composto estudado (neste caso é o primeiro), pode ser evidenciado com a omissão completa das ligações do segundo composto. Nos produtos notamos novamente que o primeiro produto apresenta apenas parte das ligações, o que de certa forma já aponta para o leitor qual local do composto merece maior atenção.

A reação 5, usando o modelo de Bolas e Varetas, é a representação menos usada, as representações exemplificadas nas reações 3 e 4 são as mais comumente observadas em livros-texto de química orgânica..

Existem algumas convenções para escrever reações químicas como os já citados sinal de “+” e a seta unidirecional. Deve se esclarecer o tipo de seta é usada para separar o reagente do produto pois existem dois tipos de seta, que possuem significados distintos; A unidirecional “→” é a seta que podemos chamar de bidirecional (vide figura abaixo), podendo ser observada também na reação 4 da figura anterior. A seta bidirecional indica que a reação se encontra em equilíbrio, o tamanho das duas setas ainda podem variar, conforme a figura abaixo.

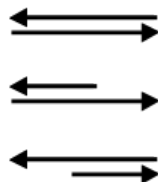


Figura 37 - Setas nas reações químicas

Fonte: Arquivo Pessoal

Estas setas também possuem significados bem diferentes entre si, informando se a reação está em equilíbrio (primeiro par de setas da figura acima) ou se há maior concentração de reagentes ou produtos. Em se tratando de mecanismos de reações, notaremos que o uso de setas é recorrente, sendo essencial estipular o que cada seta representa.

No estudo da química orgânica se deseja saber mais do que apenas quais compostos reagem e quais compostos se formam, o químico deve entender como os produtos da reação são formados, o que ocorre durante o processo de transformação. A explicação para isso tomará forma de um Mecanismo de Reação (SOLOMONS, 1992), tema abordado no próximo tópico.

2.4.3) Representações gráficas e convenções de mecanismos de reação

As representações gráficas de reações químicas apenas apontam o(s) reagente(s) e o(s) produto(s), sem informar os eventos que ocorreram para que houvesse esta transformação, podendo até parecer mágica, como aponta Solomons.

(..) Mecanismo para a Reação - uma descrição dos eventos que ocorrem em um nível molecular quando reagentes tornam-se produtos (...) ao compreendermos o mecanismo de uma reação tiramos a mágica para dar lugar à racionalidade (SOLOMONS, 1992. p.78).

Existem algumas convenções para a escrita de mecanismos, sendo a seta um dos principais elementos. Existem diferentes tipos de setas, cada uma possui um significado próprio. Normalmente é indicado ao leitor o significado das setas, como é feito por Solomons (op. cit.).



Figura 38 - Delimitação de significado de setas

Fonte: (SOLOMONS & FRYHLE, 2001)

O uso das setas demonstrado acima é para informar a movimentação de elétrons. Não se informa graficamente a movimentação de compostos ou átomos em mecanismos de reação. Grossman alerta que os elétrons não se movem de um local para outro, e que as setas servem mais como formalismo, e se referem especificamente ao fluxo dos elétrons (GROSSMAN, 1964). Além das setas informando a movimentação de elétrons existem também setas que separam os produtos dos reagentes, as mesmas usadas nas equações das reações.

Normalmente uma reação ocorre em mais de uma etapa, a representação do mecanismo pode ser mais ou menos detalhada acerca destas etapas. Em alguns casos apenas se informa a movimentação dos elétrons, deixando implícito como ocorre a transformação e movimentação das ligações, como no exemplo a seguir.

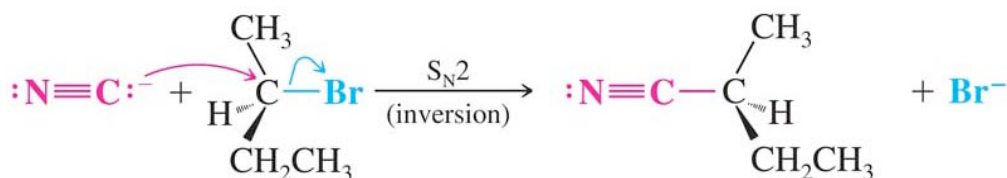


Figura 39 - Mecanismo de reação SN2

Fonte - (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

Neste caso a seta separando reagente e produto é como a sarjeta das histórias em quadrinhos. A grande característica da sarjeta é permitir que o leitor interprete, e imagine o que acontece entre um quadro e o outro (MCCLOUD, 1995).

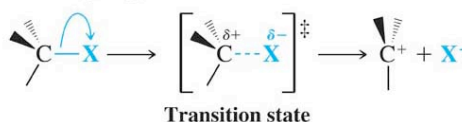


Figura 40 - Sarjeta em histórias em quadrinhos

Fonte: (McCloud, 1995, p.66)

Porém, no estudo de mecanismos de reações é mais interessante expor de maneira clara os eventos que ocorrem durante a reação. Existem casos em que se expõe o estado de transição, como na Figura 34. Sendo o estado de transição, como o próprio nome sugere, um estado entre o início (reagente) e o fim (produto) da reação.

S_N1 Reaction (Rate-Limiting Step)



S_N2 Reaction



Figura 41 - Estado de transição

Fonte: (SOLOMONS & FRYHLE, 2001)

Há casos que se apresentam de maneira ainda mais explícita as etapas de uma reação com o auxílio de texto. Nestes casos os mecanismos são apresentados como verdadeiras “histórinhas”. Abaixo um exemplo.

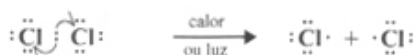
Cloração Radical do Metano

Reação:



Mecanismo:

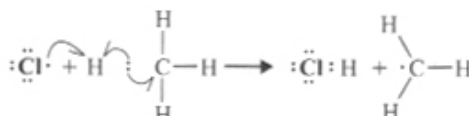
Etapa 1



Sob a influência do calor ou da luz, uma molécula de cloro se dissocia: cada átomo leva um dos elétrons ligantes.

Esta etapa produz dois átomos de cloro altamente reativos.

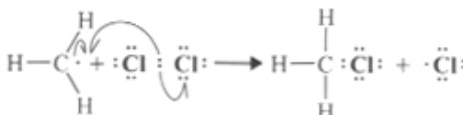
Etapa 2



Um átomo de cloro extrai um átomo de hidrogênio da molécula de metano.

Esta etapa produz uma molécula de cloreto de hidrogênio e um radical metila.

Etapa 3



Um radical metila extrai um átomo de cloro de uma molécula de cloro.

Esta etapa produz uma molécula de cloreto metílico e um átomo de cloro. O átomo de cloro pode provocar agora uma repetição da etapa 2.

Figura 42 - Mecanismo de Reação detalhado

Fonte: (SOLOMONS & FRYHLE, 2001)

Os exemplos acima fazem uso das fórmulas estereoquímicas, porém, uma reação pode ser representada de duas maneiras. Além das fórmulas estereoquímicas, com setas indicando a movimentação de pares de elétrons, pode se representar uma reação utilizando figuras de modelos moleculares. Abaixo duas imagens comparando um mesmo mecanismo representado de maneiras diferentes.

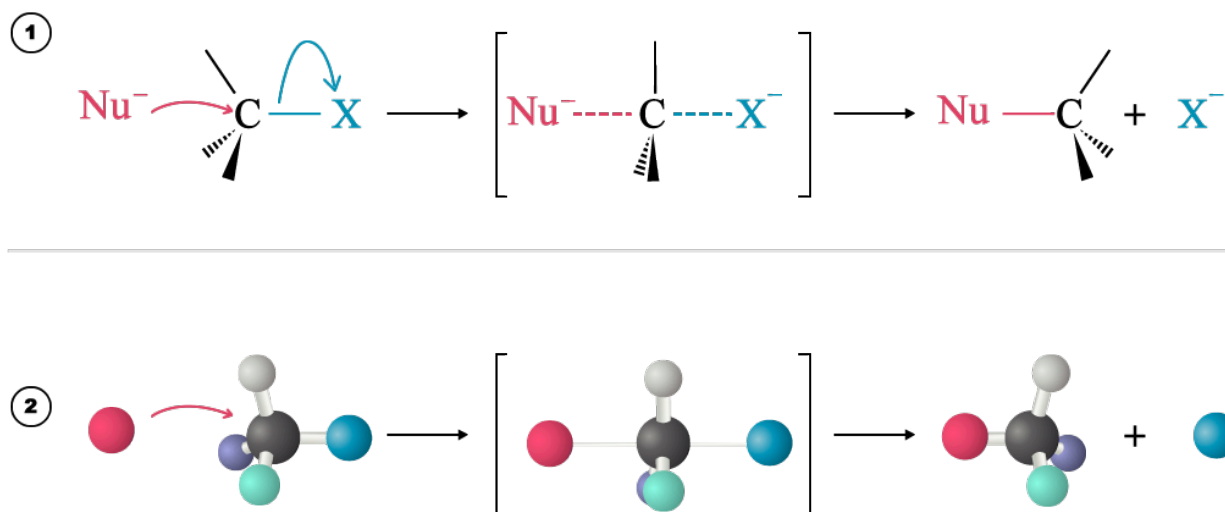


Figura 43 - Mecanismo de reação escrito com fórmula estereoquímica e modelo molecular

Fonte: Arquivo pessoal, adaptado de (SOLOMONS & FRYHLE, 2001)

Note que não foi representado o mecanismo acima com as outras fórmulas. O motivo é que as outras fórmulas de representação gráfica são incapazes de evidenciar ângulos entre ligações (alguns deles até omitem as ligações entre átomos), informação esta indispensável para a escrita de um mecanismo de reação química.

Estas representações são comumente utilizadas em livros-texto e publicações na área de química, sendo bastante úteis quando o leitor compreende o modelo utilizado. Por isso é importante que o aprendiz conheça bem as fórmulas gráficas vistas anteriormente bem como as convenções para escrita de mecanismos.

Assim conclui-se a revisão bibliográfica deste trabalho. A seguir será apresentado de maneira detalhada o método proposto.

3) Método da Pesquisa

Este projeto se caracteriza como uma pesquisa experimental de caráter aplicado, uma vez que será feita uma análise interpretativa de dados coletados em testes empíricos (CHIZZOTI, 1995). Por mais complicado que seja isolar uma única variável, será trabalhada apenas a variação da modalidade da mídia sendo apresentada com material de apoio em sala de aula (imagem estática ou animação).

O objeto de estudo serão animações instrucionais utilizadas como material de apoio didático no ensino de química orgânica, em específico no ensino de mecanismos de reações. O fator manipulado, em outras palavras, a variável independente (MARCONI & LAKATOS, 1993), é a modalidade da mídia, e a variável dependente - o que será investigado devido à manipulação da variável independente (op. cit.) - é a eficácia da representação no processo de ensino-aprendizagem.

Definição das variáveis

Foi trabalhada modalidade da mídia como variável dependente e a eficácia da representação como independente. A seguir foram detalhadas as mencionadas variáveis de acordo com o avaliado (alunos e professor).

Variável Independente	Modalidade da mídia instrucional. Imagem Estática ou Animação	
Variável Dependente	Alunos	<ul style="list-style-type: none"> • Mudanças de comportamento (motivação, reação, nível de atenção); • Retenção e formação de representação mental dinâmica na memória de curto prazo; • Retenção e formação de representação mental dinâmica na memória de longa duração; • Preferência pessoal de modalidade e fórmula de representação química de compostos; • Preferência da apresentação da modalidade preferida.

Variável Independente	Modalidade da mídia instrucional. Imagem Estática ou Animação	
	Professor	<ul style="list-style-type: none"> • Familiaridade do professor com as diferentes mídias em sala de aula; • Satisfação/preferência por determinada mídia; • Mudança de estratégia pedagógica; • Confiança com uso de novas mídias.

Participantes

Foi escolhida uma amostragem estratificada, já que de toda uma população foi selecionado apenas um pequeno grupo específico contendo características pertinentes ao estudo (GROSOF & SARDY, 1985), ou como Gil (2009) afirma, um subgrupo da população considerada. Nesse caso a população considerada são alunos de química em geral, independente da instituição ou grau de escolaridade. Escolheu-se contudo, alunos em nível de graduação, e por conveniência uma amostra de alunos da UFPR (Universidade Federal do Paraná), especificamente alunos de graduação em Química matriculados na disciplina Química Orgânica, que totalizaram 20 alunos. A justificativa para a escolha desta amostra é o fato de mecanismo de reação, enquanto conteúdo programático, ser exposto pela primeira vez de maneira profunda, em sala de aula, nesta disciplina, o que proporciona uma chance ímpar para estudar os efeitos das diferentes mídias no ensino da mesma.

Foi feita então a divisão da amostra em dois grupos (controle e experimental). Ambos serão expostos ao mesmo conteúdo, elaborado e ministrado pelo mesmo professor, em aulas de mesma duração e no mesmo local. O grupo de controle foi exposto ao material de apoio tradicional (livros-texto, desenhos feitos no quadro negro) além das imagens estáticas produzidas pelo Autor em *software* adequado. Estas imagens então projetadas através de projetor de multimídia. No grupo experimental foram usadas animações ao invés de imagens estáticas, sendo esta a única variável (em teoria).

Conforme sugestão de Medeiros (2010), houve o acompanhamento do professor para que se alcançassem os objetivos propostos desejados. Por este motivo o método previu a participação do professor ao expor tanto animações quanto imagens aos alunos.

Tomou-se o princípio Multimídia de Mayer, assim como no experimento de Barak (2010), o professor adicionou explicações de forma verbal junto à apresentação da mídia, logo, a parte textual em ambos os grupos foi assimilada pelo canal auditivo deixando o canal visual apenas para receber informações das imagens ou animações.

Produção das imagens

Para a produção das imagens tomou-se como base a obra de Solomons (1992), buscando apenas traduzir os desenhos feitos por este para uma linguagem visual que acreditou ser mais adequada. Também foi observado os padrões de cores e formas que são convencionados conforme visto na revisão bibliográfica, as quais permitem apenas pequenas alterações visuais.

O motivo para não adotar as imagens do autor citado acima se deu-se pelo fato de que, em primeiro lugar, foram feitas pequenas melhorias na representação visual, em segundo lugar, as mesmas imagens feitas aqui, através do *software* Fireworks, foram usadas na etapa de criação das animações, o que facilitou a passagem dos elementos visuais para o *software* no qual foram confeccionadas as animações.

A seguir será discutida como se deu a produção das animações, apresentando também as imagens estáticas criadas e enfatizando como se deu a transposição das representações estáticas de mecanismos de reações químicas para o formato dinâmico.

Produção das animações

Na revisão bibliográfica foi feito um estudo analítico das convenções para escrita de mecanismos de reações em imagens estáticas. Com base neste estudo, foi feita a transposição do estático para o dinâmico. Foram elaboradas duas animações para um mesmo mecanismo - os mecanismos abordados serão S_N1 e S_N2 - uma delas usando a fórmula de traço e a outra o modelo de bola e vareta.

Por questões de conveniência foi utilizado o *software* Adobe Flash para o desenvolvimento das animações, assim como as imagens estáticas, foram produzidas pelo próprio autor contando com o auxílio do professor Dr. Brás Heleno de Oliveira, professor de química orgânica do departamento de química da UFPR.

Uma característica importante da animação é que ela permite um mínimo de interação, desta forma, o professor pode retornar a um determinado ponto da animação, repetir algum trecho, avançar e assim por diante.

Transposição da representação estática para a dinâmica

Os mecanismos de reações químicas orgânicas foram escolhidos pelo professor Dr. Brás Heleno de Oliveira e fazem parte do conteúdo programático da disciplina de química orgânica da UFPR, os quais são denominados S_N1 e S_N2 .

Em princípio buscou-se compreender o mecanismo, formar uma representação mental dinâmica dos eventos, por mais que não se consiga compreender os conceitos químicos por trás da movimentação de átomos, etc. Tomou-se como base a representação gráfica usada na obra de Solomons (1992), que pode ser observada abaixo.

S_N1 Reaction (Rate-Limiting Step)



S_N2 Reaction

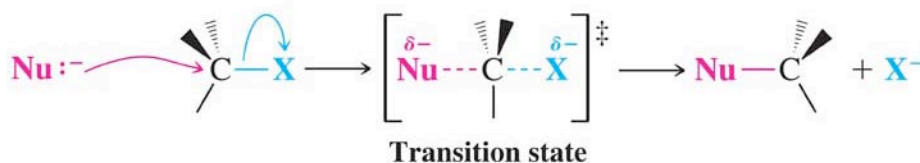


Figura 44 - Estado de transição

Fonte: (SOLOMONS & FRYHLE, 2001)

Em seguida foi feita uma pequena adaptação do layout apresentado por Solomons, buscando manter o padrão de cores utilizado para promover contraste aos pontos relevantes da representação, neste caso, os átomos e ligações que se alteram durante a reação química. A figura a seguir apresenta os 2 layouts confeccionados, utilizando neste caso a fórmula de cunha, dos dois mecanismos.

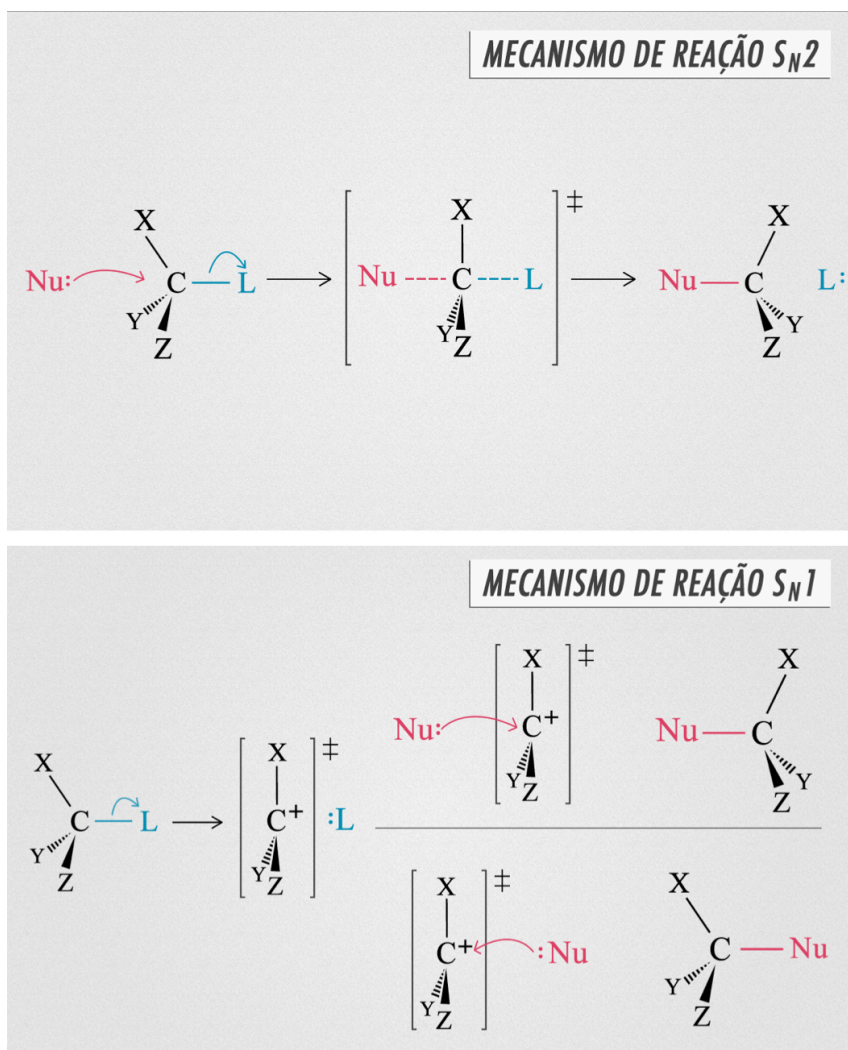


Figura 45 - Representação Estática com fórmula de cunha dos mecanismos S_N1 e S_N2

Fonte: Arquivo Pessoal

Observe que a ordem de apresentação está invertida em relação à Solomons (primeiro S_N2 e depois S_N1), pelo fato do mecanismo S_N2 ser um pouco mais simples do que o S_N1 , de acordo com o professor de química orgânica.

No mecanismo S_N1 o layout proposto divide e aponta as duas possibilidades que o mecanismo pode ter (entrada do nucleófilo - elemento Nu, representado com a cor rosa - pela direita ou pela esquerda).

No mecanismo S_N2 , no layout proposto bem como na referência, a representação da ligação do estado de transição foi feita usando uma linha pontilhada, no referente dinâmico este evento foi tratado de outra maneira.

Durante as aulas, o professor ao explicar estes mecanismos usou, em um primeiro momento, a representação estática com o modelo de cunha. Em seguida apresentou o mesmo mecanismo, mas desta vez usando o modelo de bolas e varetas, que adota a

mesma paleta de cores, visando manter o padrão visual, bem como a mesma diagramação, abaixo a figura representativa.

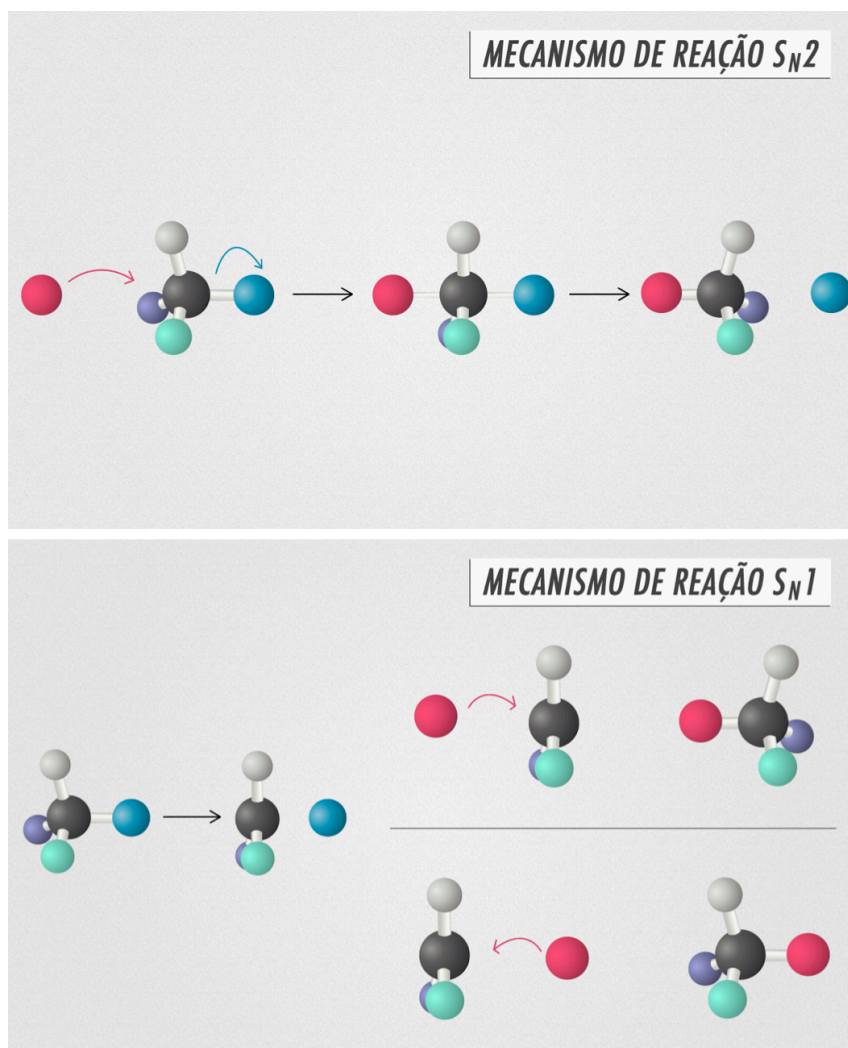


Figura 46 - Representação Estática com modelo de bolas e varetas dos mecanismos Sn1 e Sn2

Fonte: Arquivo Pessoal

A sequência de apresentação para o grupo de controle foi então: Mecanismo Sn2 com fórmula de cunha, Mecanismo Sn2 com modelo de bola e vareta, Mecanismo Sn1 com fórmula de cunha e por fim Mecanismo Sn1 com modelo de bola e vareta. A apresentação das imagens foram todas seguidas da explicação do professor, servindo como material de apoio apenas e não substituto para o ensino.

Para a transposição do estático para o dinâmico foram usados os mesmos mecanismos, fórmulas e modelos apontados acima. O intuito da representação dinâmica criada foi a de ser uma “imagem em movimento”, ou seja, usar a mesma linguagem visual mas com a adição de movimento.

Foram apenas duas mudanças visíveis de layout que foram feitas por questões da adaptação de modalidade. Uma delas, como fora comentado anteriormente, foi a questão do estado intermediário de uma ligação, que não está completamente formada nem completamente rompida. Na imagem estática foi usado o artifício da linha pontilhada, dando a idéia de ruptura. No referente dinâmico foi trabalhado o artifício chamado *Fade*, ou desvanecimento, que é basicamente o trabalho com a opacidade do elemento. Neste caso quando a ligação está completa a opacidade é 100%, no estado intermediário 50% e quando completamente rompida cai para 0%, desaparecendo completamente.

Além deste detalhe, a movimentação de elétrons representada com as setas foi substituída pela movimentação dos átomos em sí (junto com eles o par de elétrons, representados com “duas bolinhas” em ambas as modalidades).

As animações possuem um funcionalidade que permite o professor uma pequena interação com a mesma. Ele têm a possibilidade de pausar a animação em algum ponto, mesmo a animação pausando automaticamente no estado intermediário. Além da pausa, o professor/usuário pode avançar quadros bem como retornar para quadros anteriores da animação. Para isso foi adotada a mesma linguagem visual de *players* de música e vídeo, comuns aos computadores pessoais atualmente. Desta forma se garante que os ícones usados se adequam ao repertório visual do professor (bem como dos alunos que terão acesso liberado às animações posteriormente), não sendo necessário o uso de textos explicativos sobre o funcionamento da animação.

Para a confecção das imagens foi utilizado o software Adobe Fireworks, as animações foram feitas usando exatamente os mesmos elementos das imagens, sendo posteriormente animadas no Flash, também da Adobe®.

Ao todo foram feitas quatro animações, duas para cada mecanismo. Assim como nas imagens, uma animação adotou a fórmula de cunha e a outra o modelo de bolas e varetas. No conjunto de figuras a seguir serão apresentadas as telas selecionadas das animações criadas, mantendo a mesma ordem adotada pelo professor (a mesma adotada ao apresentas as imagens).

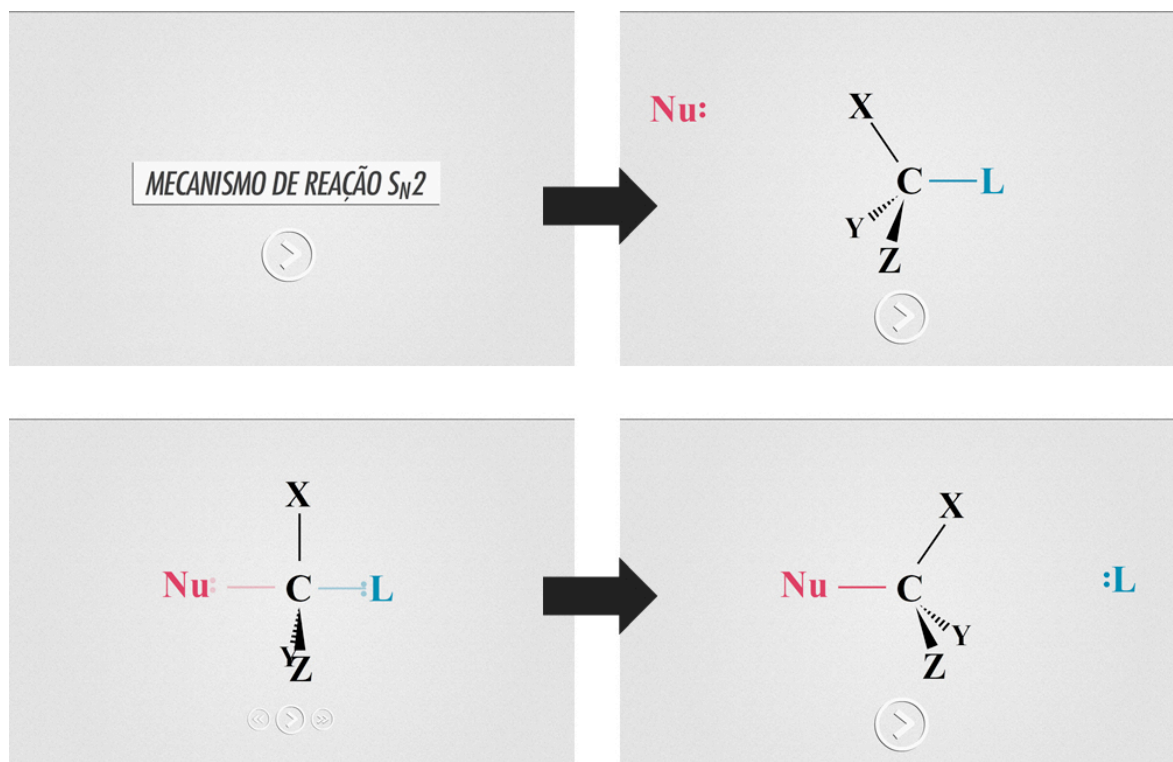


Figura 47 - Telas selecionadas da animação representando o mecanismo S_N2 com fórmula de cunha
 Fonte: Arquivo Pessoal

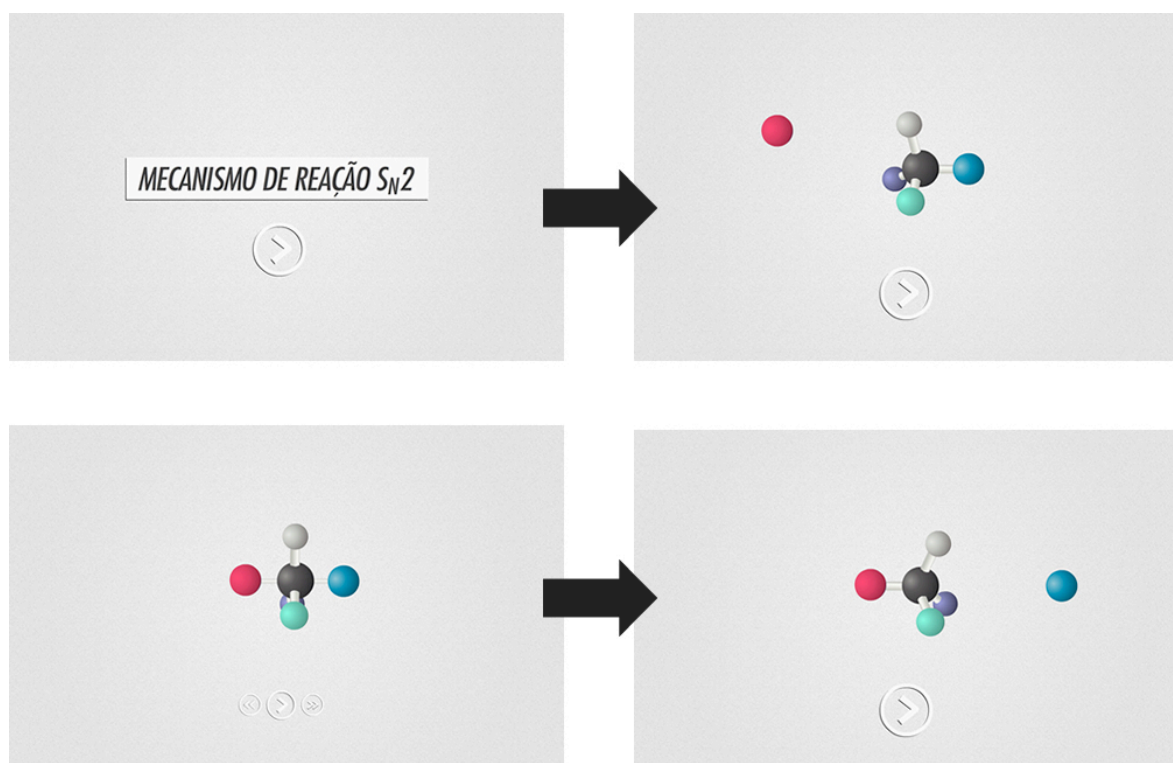


Figura 48 - Telas selecionadas da animação representando o mecanismo S_N2 com modelo de bolas e varetas

Fonte: Arquivo Pessoal

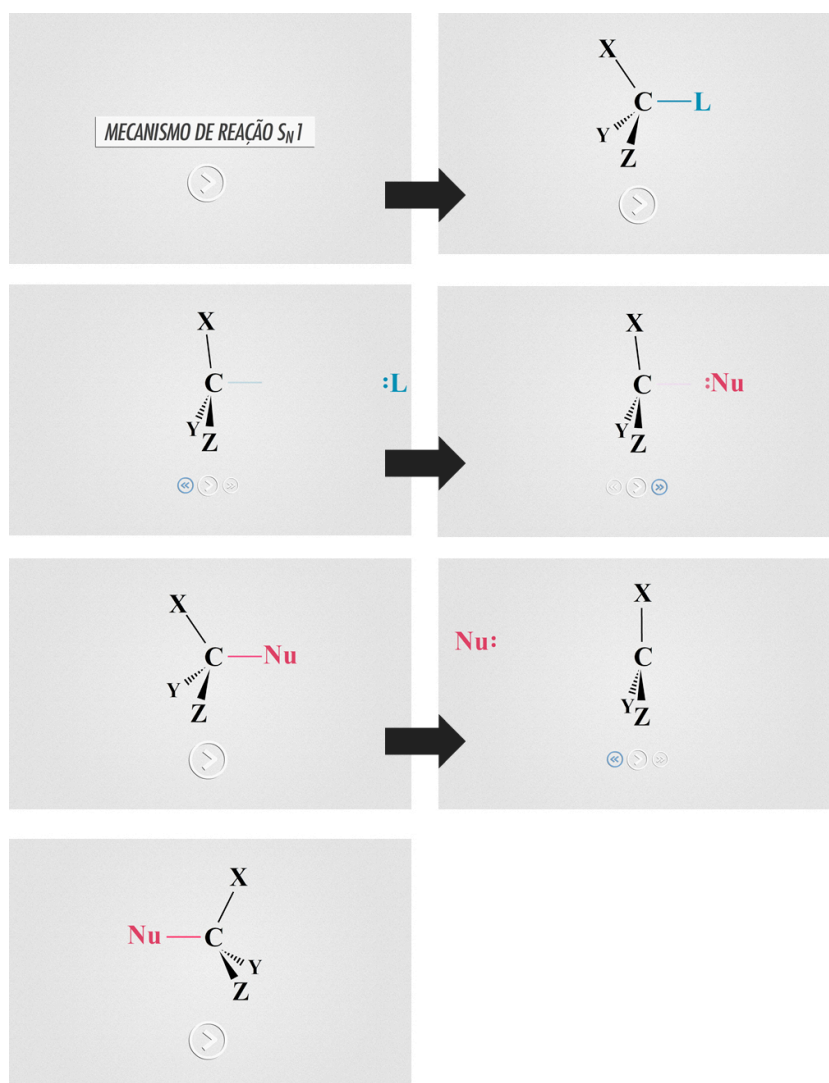


Figura 49 - Telas selecionadas da animação representando o mecanismo S_N1 com fórmula de cunha

Fonte: Arquivo Pessoal

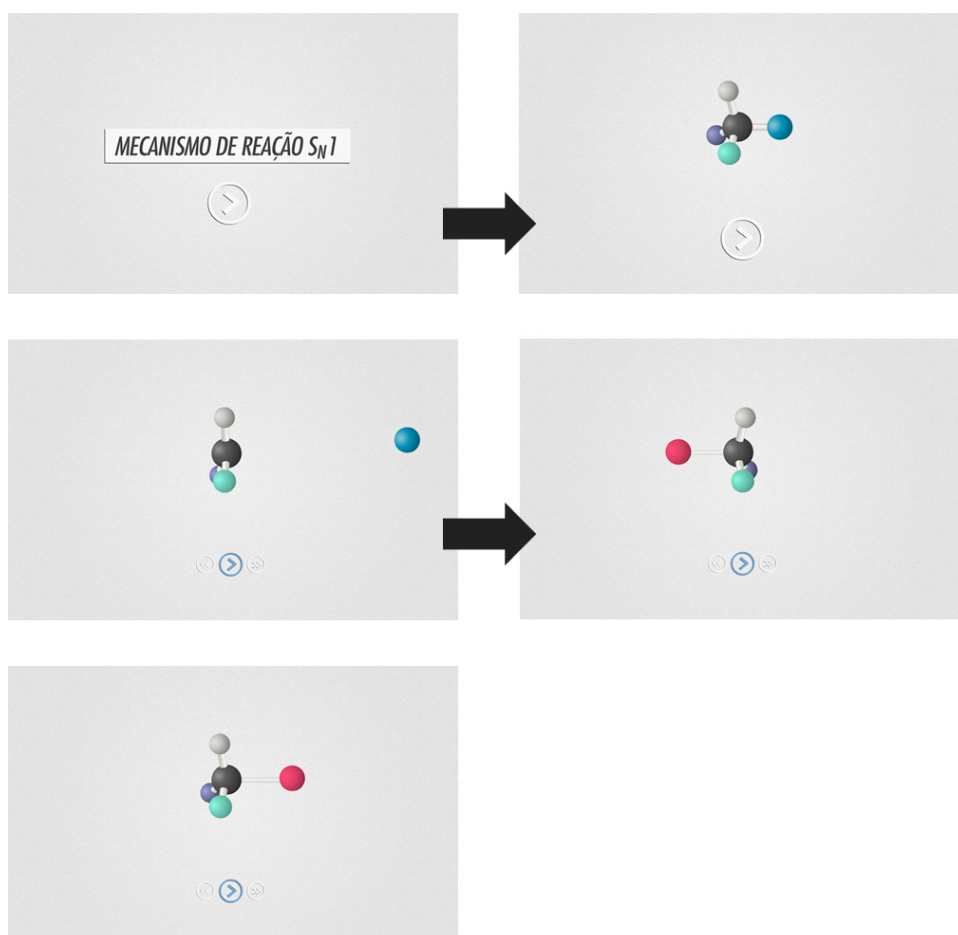


Figura 50 - Telas selecionadas da animação representando o mecanismo S_N1 com modelo de bolas e varetas

Fonte: Arquivo Pessoal

Etapas da pesquisa

As avaliações dos experimentos foram feitas em 5 etapas principais, resumidas na figura abaixo e discutidas a seguir. (Em anexo estarão disponíveis todos os questionários utilizados durante os testes.)

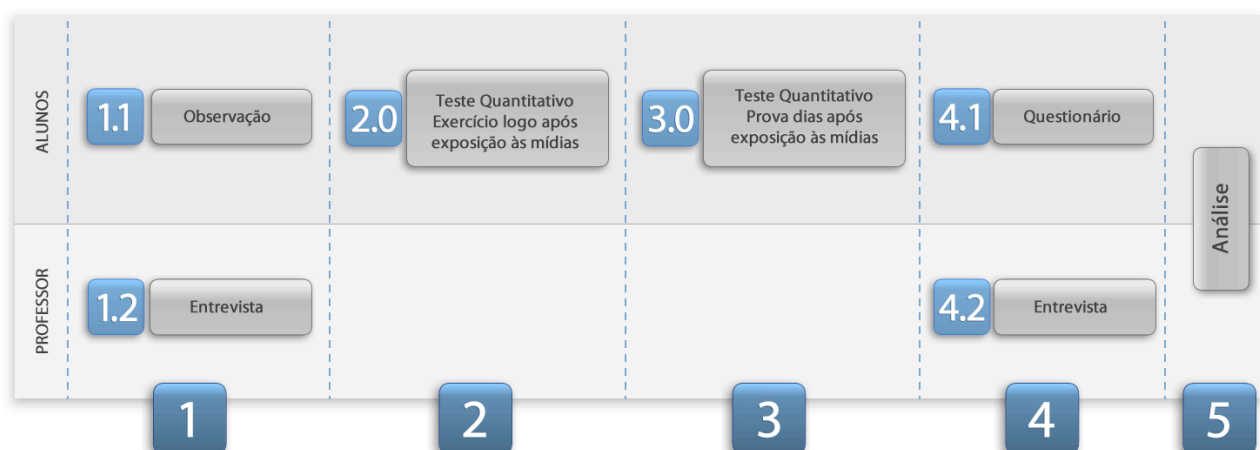


Figura 51 - Etapas do método a ser utilizado na aplicação e avaliação das mídias estática e dinâmica no ensino de mecanismos de reações químicas.

Fonte: Arquivo Pessoal

Etapas 1.1 - Observação

O autor fez observações metódicas e estruturadas (CHIZZOTI, 1995) de ambos os grupos durante exposição aos diferentes materiais de apoio. O principal objetivo desta etapa foi avaliar se a animação promovia algum tipo de reação que indicasse maior motivação por parte dos alunos. Para isso foram feitas observações simples, pois o autor se portou como um mero espectador (GIL, 2009), anotando e comparando as possíveis reações dos grupos.

Utilizou-se a técnica não verbal de análise de emoções desenvolvida por Reijneveld et. al. (2003) chamada *Emocards*. Esta técnica foi baseada em um círculo com desenhos representando emoções, tanto masculino quanto feminino, onde o avaliado aponta a emoção sentida ao estar diante de um produto a ser avaliado (ver Figura 52).

Para esta etapa contudo, foi feita uma adaptação desta técnica. Ao invés do aluno apontar o desenho correspondente à emoção sentida, o próprio Autor fez a seleção e inclusão da emoção dos alunos com base na observação. Posteriormente foi aplicado o *Emocards* da maneira tradicional, com o intuito de comparar os dados obtidos.

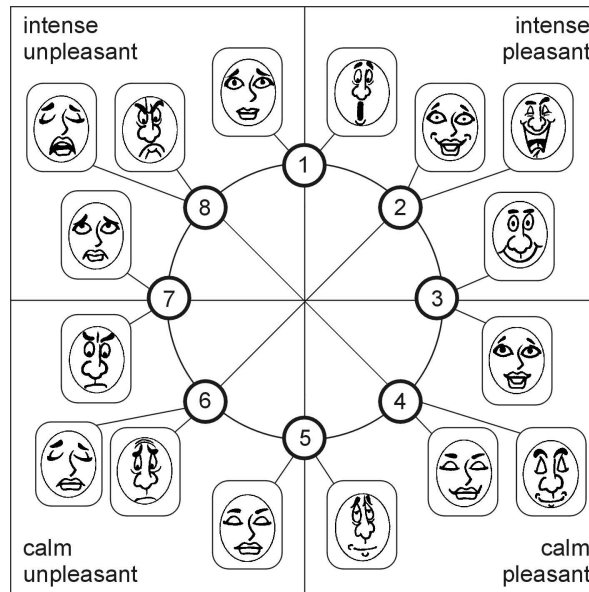


Figura 52 - Círculo de emoções do *Emocards*

Fonte: (Reijneveld, Looze et al. 2003)

A escolha desta técnica de coleta e não uma entrevista, formulário ou mesmo uma escala *likert*, se deve à crença de que uma expressão, ou uma ação, possa dizer muito mais sobre uma possível emoção do que outra técnica de coleta de dados.

Optou-se por não usar registros fotográficos nem filmados para não interferir na aula tão pouco intimidar os alunos de alguma forma, tornando o ambiente da sala de aula o mais normal e livre de intervenções externas possível. Por isso esta etapa não contou com nenhum tipo de registro a não ser os feitos pelo próprio autor.

Em paralelo, o professor também foi requisitado para observar as reações dos alunos, os fatos presenciados foram então questionados pelo Autor, como tratado a seguir.

Etapa 1.2 - Entrevista

Logo após as observações feitas pelo autor foi realizada uma breve entrevista com o professor que ministrou a aula a fim de coletar informações sobre as emoções que *e/e* acredita que os alunos tiveram durante a exposição às diferentes modalidades de mídia, também com base unicamente em sua observação e usando os *Emocards*.

Optou-se por técnicas de classificação por escala subjetiva, pois em concordância com Sweller et al. (1998), acredita-se serem estas técnicas promissoras para se fazer pesquisa no contexto cognitivo.

Etapa 2.0 - Exercício

O professor aplicou um pequeno exercício nos minutos finais da aula cujo objetivo foi avaliar os conhecimentos adquiridos na aula recém dada, tanto para o grupo de controle quanto para o grupo experimental. Este foi elaborado pelo professor junto ao autor e teve como objetivo também verificar a eficiência da mídia a curto prazo, avaliando a assimilação de conteúdos de cunho teórico-químico, especificamente a representação mental dinâmica formada pelos alunos.

O exercício foi individual e os alunos tiveram a chance de solicitar ao professor que executasse uma animação quantas vezes fosse necessário. No caso do grupo de controle, os alunos puderam igualmente consultar quantas vezes quisessem o material oferecido.

Nesta etapa os alunos foram solicitados a responder um questionário com apenas duas perguntas, consistindo em “escrever” (desenhar) os mecanismos requisitados.

Essa etapa se caracterizou como quantitativa uma vez que foram criados critérios para avaliação das respostas cujo resultado foi um valor numérico. Os critérios de avaliação usados nesta e na etapa a seguir se assemelham aos usados por (AL-SHAMMARI, 2010), e podem ser observados no quadro abaixo.

Tabela 5 - Critérios de avaliação dos desenhos dos mecanismos de reações químicas orgânicas.

	Reação	Sn2	Sn1
1	Movimentação dos elétrons	2	3
2	Uso colchetes p/ transição	1	1
3	Estrutura estado transição	5	5
4	Estrutura dos produtos	5	10
	Subtotal	13	19
	Total Máximo	32	

Etapa 3.0 - Prova

No final do trimestre, algumas semanas após a aula em questão, o professor aplicou uma Prova como normalmente é feito no fim do trimestre. Esta Prova contemplou conteúdos de todo o trimestre, limitando-se aqui a avaliação apenas das questões referentes aos mecanismos de reações.

O intuito de uma Prova é avaliar se houve aprendizagem significativa por parte dos alunos. Um indício pode ser verificado caso o aluno for capaz de transferir conhecimentos. Assim, como na etapa anterior, o aluno teve que “escrever” (desenhar) os mecanismos são os mesmos que foram apresentados em sala de aula, contudo a reação era diferente. As questões foram elaboradas pelo professor junto ao autor, buscando avaliar a representação mental dinâmica formada pelos aprendizes, buscou-se também avaliar o impacto que as representações têm na memória de longo prazo dos alunos, por isso o distanciamento temporal entre a apresentação do material e a prova.

Foram obtidos, após o término desta fase, dados quantitativos, ou seja, as notas obtidas pelos alunos na prova. Os critérios de avaliação foram os mesmos usados na etapa anterior, sendo confrontados os resultados desta com os daquela etapa, a fim de verificar os impactos na memória de curta e longa duração dos alunos para as diferentes modalidades da mídia.

Etapa 4.1 - Questionário

Em um último momento foi aplicado um questionário para os alunos de ambos os grupos. As perguntas foram referentes à opinião pessoal em relação às mídias usadas, deixando de lado questões técnicas. Também foi usada a técnica dos *Emocards*, além de questões referentes ao gosto pessoal, eficiência da mídia, motivação, eventuais dificuldades, etc (o modelo do questionário está disponível nos anexos). Os dados coletados nesta etapa foram comparados com os das anteriores, o que permitiu apontar eventuais deficiências de alguma técnica de coleta de dados.

Etapa 4.2 - Entrevista

Poucos trabalhos encontrados na literatura demonstraram preocupação em conhecer a opinião dos professores sobre as diferentes mídias utilizadas como apoio em suas aulas. Apenas um trabalho que esboçasse esta preocupação, o de Moore-Russo et. al. (2010), no qual os autores apontam que o uso de animações requer dos professores, (tanto iniciantes quanto os mais experientes, considerar suas práticas pedagógicas e como elas afetam suas aulas.

A maioria das pesquisas em Design Instrucional foca exclusivamente o usuário, mas como o professor aqui é peça fundamental para a instrução, e a mídia material

apenas apoio e jamais substituto do professor, é extremamente relevante a opinião deste a respeito do uso destas novas tecnologias em sala de aula.

Por isso, em paralelo com o questionário anterior, foi feita uma entrevista semi-estruturada⁴ com o professor que preparou e ministrou a aula. É importante conhecer as implicações que o uso da mídia dinâmica confere à aula: Ocorre mudança drástica na estratégia da aula? O professor se sente à vontade usando este material? Quais os pontos positivos e pontos negativos do uso destas mídias em sala de aula?

A etapa 4 foi o momento de coleta de dados qualitativos, referente aos alunos e ao professor, e após a coleta foi feita uma análise dos mesmos.

Etapa 5 - Análise

A seguir é apresentado como procedeu-se quanto à análise dos dados coletados, indicando a forma de análise de acordo com o número da etapa supra citada (Figura 51).

As etapas 1.1 e 1.2 forneceram dados referentes às possíveis emoções esboçadas pelos alunos ao serem expostos às diferentes mídias. A análise foi qualitativa uma vez que foram analisadas as reações demonstradas por ambos os grupos. Foi feita uma tabulação manual dos dados usando como base o *Emocards*.

Na etapa 2.0 a análise dos dados foi de caráter quantitativo, já que foram analisadas as respostas dadas pelos alunos com base em critérios pré definidos, gerando uma nota.

A etapa 3.0, assim como a 2.0, foram estritamente quantitativas, sendo tabuladas, analisadas e comparadas às notas obtidas pelos alunos nas questões referentes ao tema de estudo. A correção e nota foram de responsabilidade do professor e foi feita uma comparação estatística entre os resultados obtidos pelos dois grupos.

A etapa 4.1 consistiu em um questionário com os alunos que participaram do experimento. As respostas obtidas foram tabuladas manualmente pelo Autor e posteriormente foi feita a análise de conteúdo.

A etapa 4.2, a entrevista com o professor, também foi submetida a uma análise de conteúdo, buscando selecionar aspectos relevantes para as conclusões finais do experimento.

⁴ A *entrevista semi-estruturada* "parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante" (Triviños, 1987) p.146

Deve-se enfatizar que os dados obtidos durante a pesquisa foram constantemente comparados para que pudéssemos avaliar a validade das respostas, bem como a eficiência de uma ferramenta ou técnica em relação à outra.

4) Resultados

Na sequência serão discutidos os resultados obtidos nos testes descritos no capítulo do Método, separando-os de acordo com as etapas propostas. Anteriormente à aplicação dos testes os alunos assinaram um Termo de Consentimento Livre, cujo modelo está em anexo no Apêndice I.

Resultado da Etapa 1.1 - Observação (Autor)

O objetivo inicial desta etapa foi detectar possíveis mudanças de comportamento dos alunos ao serem apresentados às modalidades de mídia em questão (seja a imagem estática ou a animação), buscando averiguar algum tipo de efeito motivacional das animações, mencionados por muitos autores.

Os resultados da observação apontam que ambos os grupos, quando o professor projetou o conteúdo sobre a tela (para ambas as mídias), apresentaram uma pequena mudança de comportamento. Antes da apresentação - durante a explicação e anotações feitas no quadro negro - ambos se encontravam em um estado mais “relaxado”, e ao serem expostos à mídia percebia-se alguma movimentação e um aumento da atenção por parte dos alunos.

Não houve uma diferença drástica de comportamento, tão pouco de expressões faciais entre os dois grupos. Seguindo o quadro do Emocards (Figura 52) os alunos apresentaram emoções que podem ser enquadradas entre o estado 3, sendo que na exposição à projeção há uma mudança sutil de **3** para **4**. Criar-se-ia um estado intermediário entre 3 e 4, um $3^{1/2}$ para descrever melhor a reação dos alunos.

Foi possível constatar alguns fatos que foram além do escopo inicial proposto no método. Um destes foi a questão do cansaço por parte dos alunos. Em conversa informal antes da aula, alunos comentavam do sono que sentiam logo após a refeição, sendo este um fator que influencia de maneira direta o aprendizado. Este cansaço fora facilmente percebido durante a explicação oral do professor, sendo que alguns alunos quase fechavam os olhos, despertando quando a mídia foi projetada. Outro fato importante foi o nível de atenção. Enquanto os alunos expostos às imagens observavam as mesmas e, simultaneamente as copiavam em seus cadernos como forma de anotação, alunos expostos às animações mantinham-se atentos à projeção durante todo o tempo. Assim,

somente após o término da animação possíveis anotações eram feitas, podendo ainda observar que foram feitas menos anotações por este grupo em relação ao de controle.

O que pôde-se concluir é que a animação, embora possa não ter motivado mais os alunos em relação às imagens, conseguiu atrair muito mais a atenção deles, direcionando toda sua atenção para a aula.

Acredita-se que o principal motivo para os alunos manterem a atenção na animação é devido ao seu caráter transitório. Conhecendo o funcionamento de um filme ou animação, o aluno sabia que, se por ventura não visse um trecho da animação seria incapaz de compreender o conteúdo da mesma.

Ainda apontando dados coletados durante a observação dos grupos, notou-se que o grupo que recebeu instruções com auxílio de imagens constantemente perguntava para o professor qual o movimento que ocorria entre as ligações e átomos, fato que não foi percebido com os alunos do grupo experimental, já que toda a informação de movimentação de elétrons e ligações estava exposta de maneira explícita.

Um último fato apontado nesta etapa da pesquisa é a dificuldade que o grupo experimental apresentou para compreenderem as notações para escrita de mecanismos de reações químicas orgânicas (uso de colchete, setas e símbolos). Por mais que o professor tenha explicado e escrito no quadro negro as notações, eles não tiveram estas notações explícitas no material de apoio, como foi feito nas imagens (sendo este um possível ponto de melhoria do design da animação).

Resultado da Etapa 1.2 - Entrevista com Professor

Nesta etapa da pesquisa foi requisitado ao professor que observasse a reação dos alunos diante do material de apoio usado em sala de aula, buscando notar qualquer tipo de mudança de comportamento.

O professor apontou resultados similares aos do Autor na Etapa 1.1. Assim como o Autor, o professor selecionou na escala do *Emocards* um número entre 3 e 4, tendo dificuldade para apontar com base apenas no desenho usado no método.

Outras observações feitas pelo professor, mais relevantes até do que a proposta no método adotando o *Emocards*, foi no sentido da atenção dada pelos alunos para o material de apoio. Assim como o Autor, o professor notou facilmente que alunos expostos à animação prestavam mais atenção na mídia, e na aula, do que os alunos expostos à imagem. Segundo o professor Dr. Brás Heleno, este fato pode influenciar e contribuir para

o aprendizado, já que o nível de atenção está diretamente relacionada com o nível de aprendizagem.

Resultados da Etapa 2.0 - Exercício

Esta etapa foi realizada com ambos os grupos logo após a aula em questão, e basicamente fora requisitado aos alunos que desenhasssem os dois mecanismos de uma reação química orgânica, no caso os mecanismos S_N1 e S_N2 , que tinham acabado de aprender (o exercício aplicado consta no Apêndice IV e os resultados tabulados no Apêndice VIII). Registramos que nenhum dos grupos requisitou que o professor apresentasse novamente o material de apoio.

O intuito desta etapa foi avaliar a representação mental formada pelos alunos a partir das diferentes modalidades de mídias apresentadas, para comparar depois com os dados da etapa a seguir. A representação mental foi avaliada através dos desenhos feitos pelos alunos.

Definiu-se pesos para cada etapa do desenho do mecanismo bem como para as convenções da escrita do mesmo, como pode ser visto na Tabela 5 no capítulo de Método. Como as convenções eram menos importantes para a formação da representação mental em relação aos desenhos dos ângulos nas etapas da reação, foi dado a eles um peso menor, enquanto que o maior peso foi dado ao desenho da estrutura do estado de transição, etapa fundamental do mecanismo e essencial para a compreensão do mesmo.

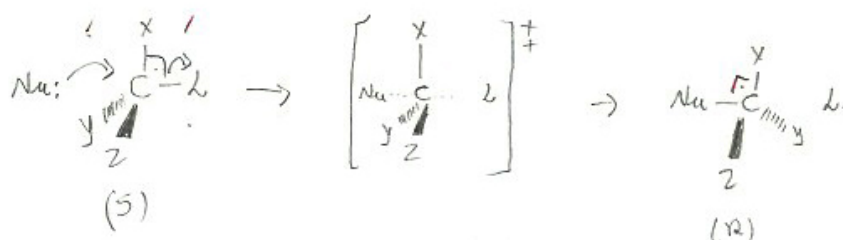
No teste quantitativo, cujo valor máximo era **32**, o grupo de Controle obteve média igual a **26,54** enquanto o Grupo Experimental obteve uma pontuação igual a **26,44**, sendo as variantes baixas, 3,4 e 3,2 respectivamente.

Os resultados apontam para uma diferença muito pequena diante das notas obtidas pelo grupo de controle e o grupo experimental.

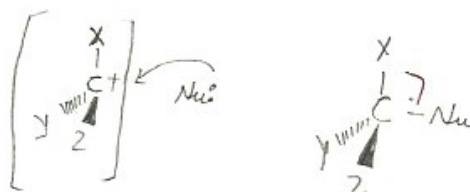
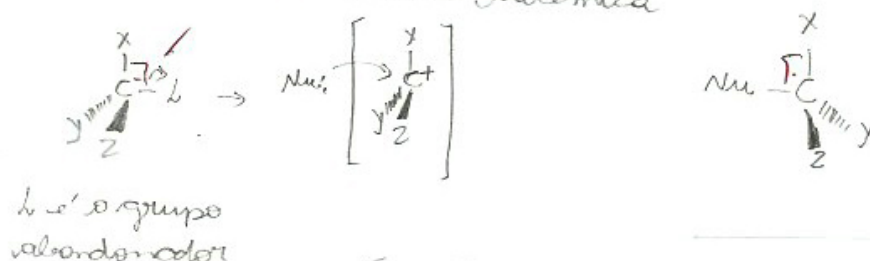
Apesar deste resultado quantitativo, com uma análise qualitativa foi possível retirar outras informações pertinentes, sendo as principais delas relativas ao ângulo das ligações e a representação gráfica do mecanismo, principalmente os formalismos gráficos como o colchete e seta.

A figura abaixo resume como foi a grande maioria dos desenhos dos alunos pertencentes ao grupo de controle, expostos à imagens.

em reação S_N2 , haverá apenas uma etapa de reação e a presença do estado de transição



Em S_N1 , haverá a formação do carbocátion e a possibilidade de mistura racêmica



possibilidade de entrada do nucleófilo ao nucleófilo de nucleófilos pelos 2 lados

Rotacão de configuração

Figura 53 - Desenho feito em exercício, grupo de controle.

Fonte: Arquivo Pessoal

Foi possível observar que neste, e vários outros desenhos, os alunos tiveram alto índice de erro ao representar o ângulo das ligações químicas, prejudicando o resultado quantitativo final. Outro erro comum foi a questão do uso das setas, que é usada para representar movimentação de elétrons e não de átomos, mas não tanto quanto no grupo experimental.

O grupo que usou animações como material instrucional teve alto índice de erro justamente na questão da representação de símbolos técnicos como o colchete e setas.

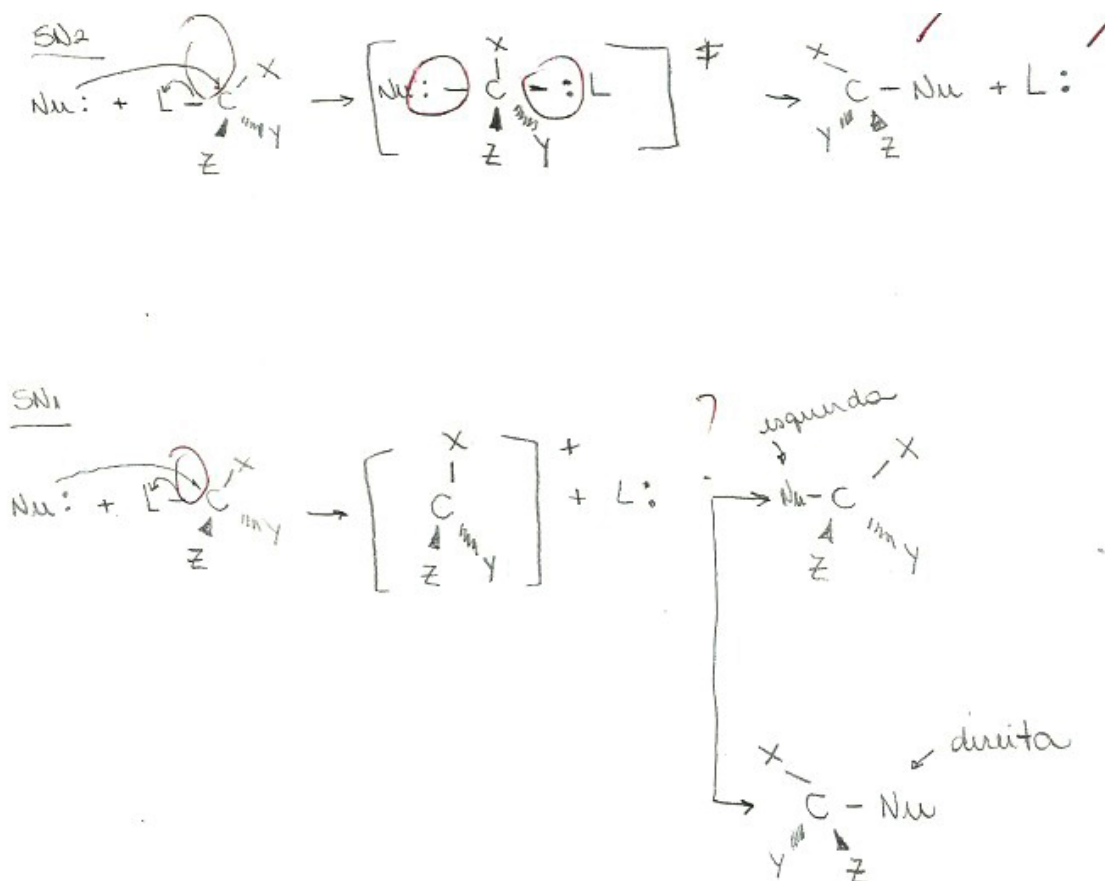


Figura 54 - Desenho feito em exercício, grupo experimental.

Fonte: Arquivo Pessoal

Notou-se que os desenhos dos alunos deste grupo tinham uma noção melhor dos ângulos, e ainda melhor, da mudança de ângulo que ocorre desde o estado inicial, passando pelo intermediário até chegar no produto final. As setas foram usadas quase sempre para representar movimentação de átomos. Como as animações não apresentavam os símbolos técnicos explicitamente, como colchete e setas (sento até este um ponto de melhoria no design da animação), essa apresentação foram feitas no quadro negro pelo professor. Por esta razão talvez, os alunos deste grupo tiveram mais dificuldade para fazer uso destes símbolos técnicos.

Resultados da Etapa 3.0 - Prova

Comparando os resultados desta e da etapa anterior busca-se avaliar o impacto da mídia na memória de curta e longa duração do aluno. Como foi apontado anteriormente, a média obtida pelos grupos girou em torno de 26 pontos (sendo o valor máximo igual a

32). Foram usados aqui os mesmos critérios da Etapa 2.0, o método de avaliação também foi semelhante ao anterior, tendo os alunos que desenhar os dois mecanismos (Sn1 e Sn2) de uma determinada reação química orgânica. O que diferiu foi a reação a ser desenhada, e principalmente a circunstância em que ele foi empregado. Enquanto o primeiro teste foi feito logo após os alunos serem expostos à aula, este foi feito algumas semanas depois da aula em questão e estava inserido na prova trimestral da disciplina, podendo observar as duas questões elaboradas para este teste no Apêndice V e as respostas tabuladas no Apêndice VIV.

A média das notas obtidas pelos alunos pertencentes ao Grupo de Controle foi de **17,6** pontos, e o Grupo Experimental obteve uma média igual a **24,55**. Interessante notar que a variância do Grupo de Controle foi bem mais alta do que o Grupo Experimental, 12,4 contra apenas 7,3, que também é um valor relativamente alto. Tal variância se deu principalmente pelo fato de alguns alunos zerarem a questão.

Pode-se concluir inicialmente que tanto a animação quanto a imagem são mais eficazes para realização de tarefas a curto prazo, sendo a animação ligeiramente mais pregnante em relação à imagem. O gráfico a seguir analisa as médias obtidas pelos grupos durante o exercício e a prova.

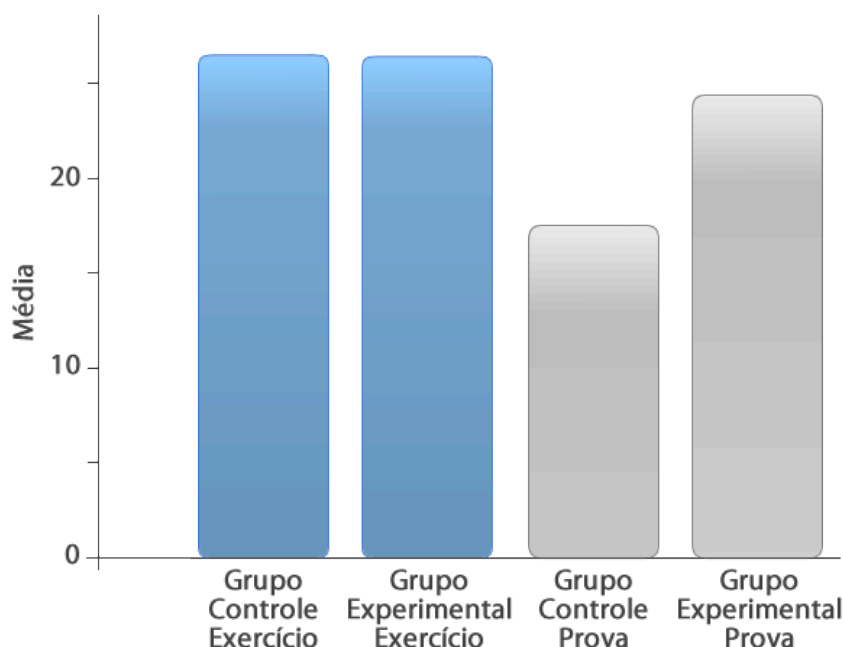
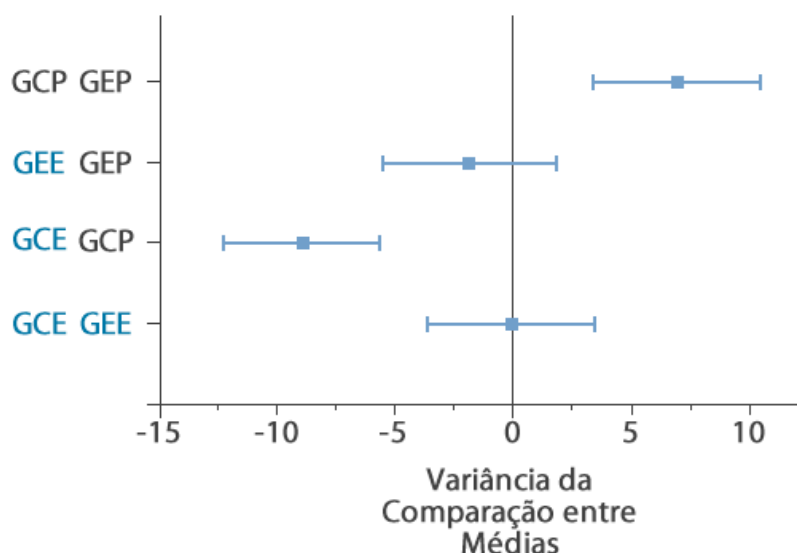


Gráfico 1 - Comparativo entre médias obtidas pelos grupos no exercício e prova

Fonte: Arquivo Pessoal

Observando o gráfico acima não é possível tirar conclusões a respeito de qual modalidade de média é melhor a longo prazo já que os resultados são muito semelhantes. Afim de ter uma melhor noção a respeito dos dados aqui obtidos, o gráfico a seguir apresenta um comparativo entre as variâncias entre as médias obtidas pelos grupos nos 2 testes.



LEGENDA			
GCE Grupo Controle Exercício	GEE Grupo Experimental Exercício	GCP Grupo Controle Prova	GEP Grupo Experimental Prova

Gráfico 2 - Variância da comparação entre as médias obtidas no exercício e na prova

Fonte: Arquivo Pessoal

Percebe-se que houve uma maior variância entre as notas obtidas nas provas, em relação aos exercícios. Apesar destas variâncias e diferenças de médias, em teste estatístico ANOVA realizado com auxílio do software estatístico OriginPro, concluiu-se que as médias não são estatisticamente diferentes, isso significa que, estatisticamente, animações e imagens são igualmente eficazes no ensino de mecanismos de reações.

Deve-se salientar que anteriormente à realização destes testes foi feito um Teste de Normalidade, cujo resultado apontou que existe uma variância significativa entre as populações examinadas, ao nível 0.01, tornando possível assim uma análise ANOVA. Abaixo tabela com dados gerais do teste ANOVA realizado.

Tabela 6 - Dados gerais ANOVA.

Participantes Grupo de Controle	Participantes Grupo Experimental
11	9

f	p	α	Média Quadrada	Soma de Quadrados
3,13087	<0.05	0,01	189,21928	567,657

Valores de q		
GCP	GEP	2,80042
GEE	GEP	0,72892
GCE	GCP	3,80084
GCE	GEE	0,04088

LEGENDA			
GCE Grupo Controle Exercício	GEE Grupo Experimental Exercício	GCP Grupo Controle Prova	GEP Grupo Experimental Prova

Assim como na etapa anterior, foi feita também uma análise qualitativa dos desenhos, com o intuito de identificar padrões, erros recorrentes, etc. E bem como na etapa anterior a análise aponta resultados semelhantes, ou seja, o grupo de controle teve um pouco mais de dificuldade para compreender os ângulos das ligações químicas entre moléculas, ao passo que os alunos do grupo experimental compreenderam bem os ângulos, mas alguns deles pecaram na representação técnica (desenho de setas e colchetes). Os desenhos a seguir ilustram bem as respostas obtidas pela maioria dos alunos (apesar do desenho do grupo experimental neste caso ter feito bom uso do colchetes e setas).

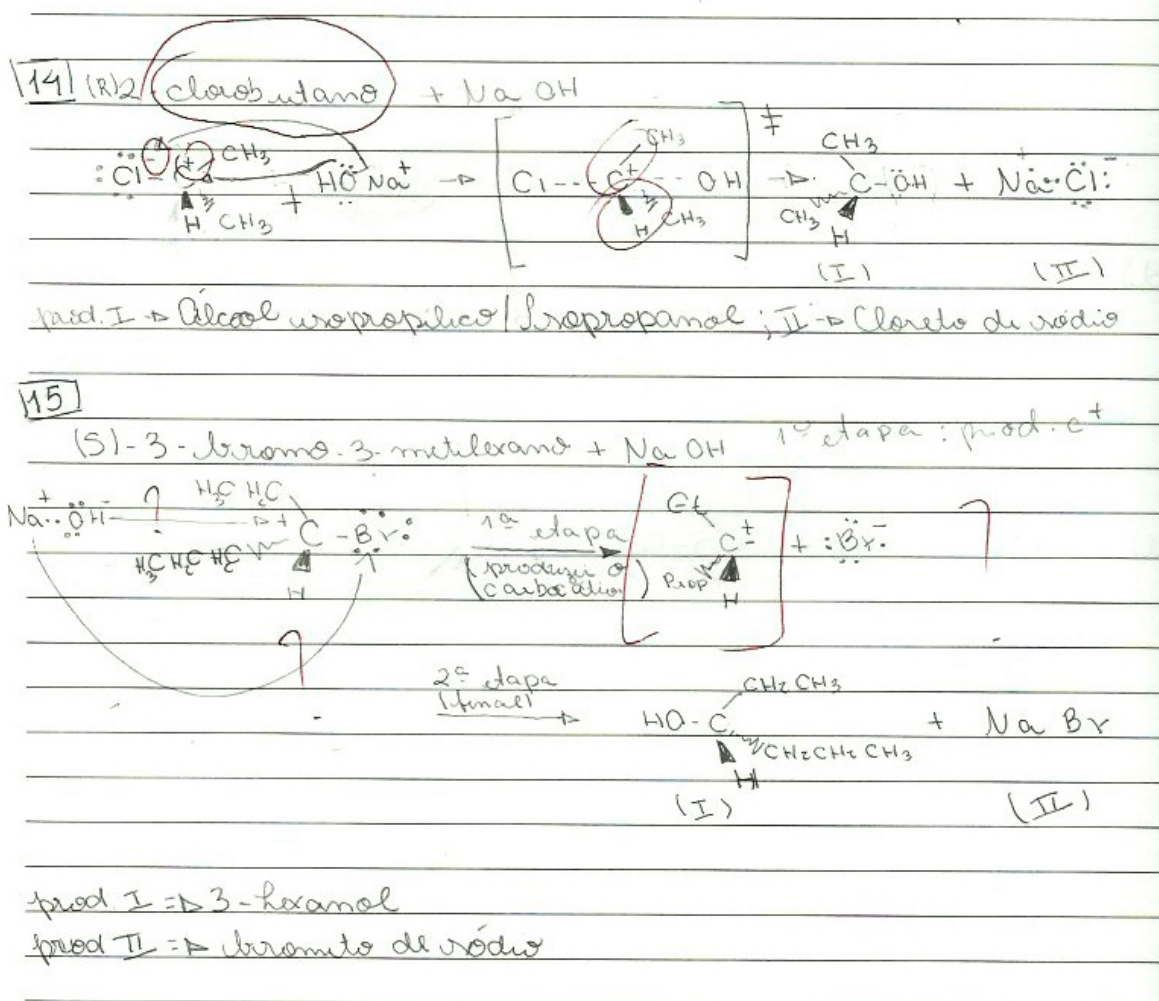


Figura 55 - Desenho feito em prova, grupo de controle.

Fonte: Arquivo Pessoal

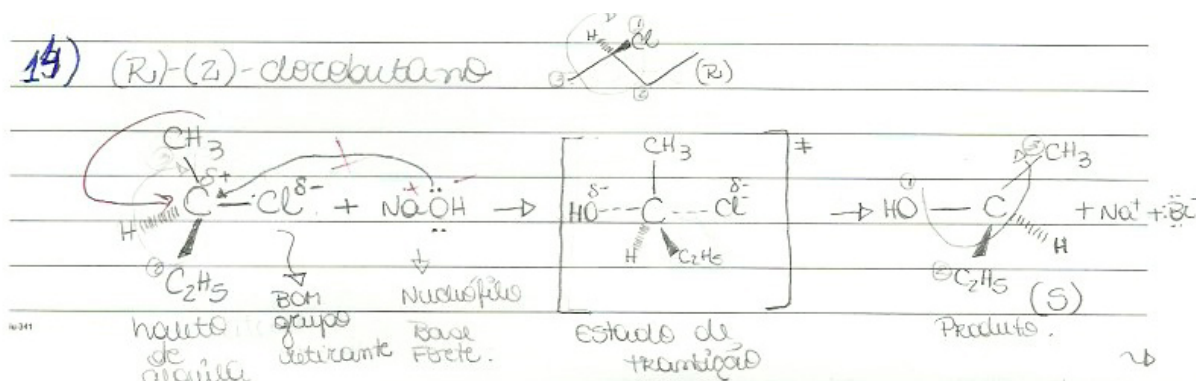


Figura 56 - Desenho feito em prova, grupo experimental.

Fonte: Arquivo Pessoal

Resultados da Etapa 4.1 - Questionário com Alunos

Nesta etapa buscou-se conhecer um pouco mais sobre os alunos e as opiniões pessoais sobre o horário da aula e sua influência no aprendizado, sobre a dificuldade que eles encontraram para compreender o conteúdo em questão, dentre outras. Para tanto foi feito um questionário simples cujo modelo está no Apêndice VI e os apontamentos mais relevantes expostos abaixo:

- A grande maioria dos alunos afirmaram que não tiveram dificuldade para compreender mecanismos de reações. Devido principalmente ao fato de que animações e imagens tiveram impactos muito semelhantes na aprendizagem. Talvez, em uma situação, na qual, o conteúdo em questão seja ao mesmo tempo dinâmico e complexo, as mídias apresentariam efeitos diferentes, possivelmente uma melhora do aprendizado com animações como boa parte da literatura aponta.
- A quantidade de horas diárias que a grande maioria dos alunos dedicam aos estudos não passa de 3 horas.
- O horário da aula, logo após o almoço, é um fator complicado para os alunos, uma vez que o cansaço físico faz com que a atenção na aula diminua.
- Com exceção de um único aluno, todos preferiram o modelo de bola e vareta à fórmula de cunha. A justificativa é principalmente referente à facilidade em perceber a estrutura do composto, em específico os ângulos formados pelas ligações entre moléculas.
- A grande maioria prefere o uso de animações acompanhadas da explicação do professor, mas uma boa porcentagem prefere animação mas com a narração embutida e uma minoria o uso de imagens acompanhadas de textos. Nota-se então que quase a totalidade prefere o uso de animações, só variando a forma de se apresentar a porção de áudio.
- As mídias usadas como material de apoio, imagem ou animação, são vistas de maneira positiva pelos alunos, auxiliando a compreensão do conteúdo, como previsto na literatura. Não havendo, segundo os entrevistados, nenhuma dificuldade em compreender o material de apoio apresentado em sala de aula.

Além destes dados, assim como nas etapas de observação (tanto do autor como do professor) o resultado apontado usando a técnica do *Emocards* apresentou os

mesmos resultados, entre o número **3** e **4** da tabela da Figura 52, os alunos que não apontaram estes números optaram pelo 5.

A principal conclusão que se pode tirar a partir dos resultados desta etapa é que, por mais que grande parte dos alunos prefiram o uso de animações, sempre existirá uma pequena parcela que prefira o uso de imagens, como foi este caso. Cabe ao professor respeitar as preferências e limitações de cada aluno, apresentando o conteúdo das diversas maneiras que estiverem ao seu dispor, com imagens, animações, modelos físicos, etc.

Conhecendo os diferentes efeitos que cada modalidade de mídia promove, o professor deve planejar sua aula e como usará as diferentes representações para obter diferentes reações por parte dos alunos. Por exemplo, caso o professor note que os alunos estão dispersando a atenção durante uma explicação oral ele pode fazer uso de uma animação, já que foi comprovado que ela é capaz de aumentar o grau de atenção dado pelos alunos.

Resultados da Etapa 4.2 - Entrevista com Professor

Nesta última etapa de coleta de dados foi feita uma entrevista com o professor que ministrou as aulas em questão. O objetivo desta etapa foi descobrir a opinião do professor quanto ao uso de diferentes mídias como material de apoio ao ensino em sala de aula. Foi feita uma entrevista no formato semi-estruturado, cujo roteiro pode ser encontrado no Apêndice VI.

Um dos primeiros fatos observados foi que o professor já havia usado animações ou vídeos em sala de aula, e que domina bem o uso das mesmas, afirmando ainda que todas as situações onde foram usadas animações ou vídeos foram com turmas em nível de pós-graduação. O motivo para tanto, segundo o professor, foi dado por uma série de motivos, o principal deles é pela falta de material encontrado. A maior questão não é tanto a quantidade, pois existe uma quantidade razoável de materiais disponíveis na internet segundo ele, o grande empecilho é que a grande maioria se encontra em inglês, o que iria dificultar ainda mais a compreensão por parte dos alunos, que além de compreender os conceitos químicos teriam que traduzir o material. O professor apontou também que os alunos aprovam o uso de animações em sala de aula, muitos elogiaram o uso destas mídias após as aulas.

Outro ponto abordado foi no sentido de uma possível alteração de postura e estratégia pedagógica ao usar animações ou vídeos como material de apoio. Segundo o professor Dr. Brás Heleno, no momento em que se decide usar uma animação já houve uma mudança de estratégia pedagógica já que deve se prever como esta será inserida no contexto da aula, e mais importante, como ela poderá ser útil.

Quanto ao uso destas mídias, o professor não se sente deslocado de forma alguma, pelo contrário, o uso destas o deixa mais confiante além de otimizar a aula, uma vez que não é necessário divagar sobre conceitos dinâmicos, como por exemplo a movimentação de átomos, mudança de ângulo de ligações, etc.

Quando perguntado sobre os pontos negativos da animação o professor não apontou nenhum, apenas alertou que o uso destes novos materiais de apoio em sala de aula devem ter uma boa orientação do professor, que uma animação usada para explicar conceitos, como os de química, jamais devem substituir o professor, a frase citada pelo professor durante a entrevista resume este tópico - *“quando se tem uma instrução de como montar uma mesa, por exemplo, uma animação é bastante em si, agora, para explicar fenômenos invisíveis como mecanismos de reações, o aluno não tem um referente externo como no caso da mesa, por isso a orientação do professor é fundamental...”*.

5) Conclusão

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das diferentes modalidades de mídias instrucionais na eficácia do aprendizado de mecanismos de reações químicas orgânicas. Para atingir tal objetivo separou-se o trabalho em 5 objetivos secundários, que cumpridos levariam à concretização do objetivo principal. Abaixo estão listados estes objetivos e como foram cumpridos:

- 1) Identificar possíveis aplicações das teorias de aprendizagem no Design Instrucional:
Etapa concluída através de uma revisão de literatura acerca das teorias mencionadas, compondo o Capítulo 2.2 deste projeto.
- 2) Caracterizar as convenções para a escrita de mecanismos de reações químicas orgânicas em mídia estática: Assim como o objetivo acima, este foi realizado através de uma revisão bibliográfica de química orgânica, o Capítulo 2.4 da dissertação.

- 3) Realizar a transposição de um mecanismo de reação, tipicamente representado em formato estático, em uma mídia dinâmica a ser utilizada com recurso didático: Através da revisão bibliográfica da etapa anterior familiarizou-se com as convenções para escrita de mecanismos de reações químicas no formato estático. As animações criadas foram feitas com o software Adobe Flash, e buscam “dar vida” às imagens estáticas encontradas nos livros-texto de química orgânica. Além do uso dos livros-texto específicos, o Autor obteve auxílio de um doutor em química, o professor Dr. Brás Heleno, para ajustes e possíveis correções nas animações criadas. Mais detalhes desta etapa foram descritos no capítulo de Método.
- 4) Identificar meios para validar a eficácia das modalidades das mídias (estática e dinâmica) no aprendizado de química orgânica: Tornou-se necessário criar critérios para avaliar os desenhos feitos pelos alunos durante alguns testes propostos no Método. Em revisão bibliográfica encontrou-se o trabalho de Al-Shammari (2010) que propunha critérios de avaliação de desenhos de mecanismos de reações químicas. Trabalho este que fora tomado como base, sendo feitas pequenas modificações naqueles critérios para adequar-se a este projeto.
- 5) Avaliar efeitos do uso das diferentes modalidades de mídias com os envolvidos (professor e alunos do curso de graduação em química da UFPR) - Para este objetivo foram feitas diversas avaliações, divididas em etapas, discutidas detalhadamente no capítulo de Método. Em suma, foi feito em um primeiro momento a observação dos dois grupos testados, tanto pelo Autor quanto pelo professor. Foram aplicados dois exercícios com formato semelhante, um logo após e outro semanas depois da aula em questão, buscando avaliar impactos na memória de curta e longa duração dos alunos dependendo da modalidade da mídia. Aplicou-se um questionário com os alunos para obter informações sobre preferência de modalidade de mídia dentre outras. E finalmente foi feita uma entrevista com o professor afim de conhecer a opinião do mesmo sobre o impacto do uso de animações como material de apoio em sala de aula, implicações na estratégia da aula, etc.

Estatisticamente a diferença entre resultados obtidos pelos alunos do grupo de controle e grupo experimental é insignificante, o que pode levar à conclusão que imagens e animações são igualmente eficazes para o ensino de mecanismos de reações químicas

orgânicas. Contudo, este trabalho revelou outros dados que são mais relevantes do que os testes quantitativos que levaram à afirmação anterior. Dentre as revelações, observou-se por exemplo que animações podem ser usadas como um “atrativo” em sala de aula, posto que os alunos expostos às animações prestaram muito mais atenção à mídia e ao professor do que o grupo que teve instruções com imagens.

De modo geral constatou-se que a animação foi uma mídia com grande potencial para o ensino de química, mas recomenda-se, assim como Medeiros (2010), que haja o acompanhamento do professor. Acredita-se que o professor deva apresentar, sempre que possível, diferentes materiais de apoio, sejam estáticos, dinâmicos, físicos ou virtuais, o importante dentro da sala de aula é fazer com que o aluno compreenda o conteúdo, e principalmente respeitar a preferência pessoal de cada um. Este trabalho apontou os efeitos que cada modalidade causa nos alunos, cabe ao professor saber usar este conhecimento para criar uma estratégia de aula que faça com que o aluno preste atenção o máximo possível na aula.

Percebeu-se que existe um certo entusiasmo por parte dos alunos quanto ao uso de novas tecnologias em sala de aula, mas mais uma vez deve-se advertir para o uso planejado e sensato destes novos materiais didáticos.

Limitações

Devido à característica subjetiva de algumas etapas propostas no Método, há a possibilidade de que nem todas as informações obtidas reflitam a realidade, principalmente em se tratando da memorização, ou assimilação de conteúdo pelos alunos. Usando esta etapa como exemplo, aqui foi requisitado para que os alunos desenhassem os mecanismos da reação adotando uma série de normas e fórmulas químicas já conhecidas, avaliando os mesmos com base em critérios pré-definidos. Diferentemente, Gibin (2000), requisitou que os alunos produzissem uma animação a fim de extrair a representação mental formada pelos mesmos.

Outra técnica que poderia ter sido usada é a chamada *think-aloud*, onde o entrevistado licita em voz alta o que passa em sua mente enquanto desenha ou escreve algo. Existe a possibilidade de que, usando algum destes métodos as informações coletadas poderiam ter sido mais ricas.

Outra possível melhoria pode ser nas próprias mídias. Por mais que feitas por um designer capacitado, levando em conta diversos aspectos como contraste, alinhamento,

etc, pode ser que tenham faltado elementos que promovessem maior contraste em etapas importantes da animação, os famosos *Attention-cueing* citados por de Koning (2010). Outro recurso que poderia ser explorado é o uso do 3D, possibilitando a rotação e animação das moléculas enquanto a reação ocorre, recurso este não adotado aqui por falta de conhecimento técnico do Autor.

Recomendações e Desdobramentos

A principal recomendação que se dá ao final deste projeto é que haja uma parceria entre o professor, especialista em um determinado conteúdo, e o designer da informação. Acredita-se que só desta forma serão produzidos materiais instrucionais (de conceitos, não de procedimentos) com a qualidade técnica e gráfica necessária para o melhor aprendizado por parte do usuário final.

Como possíveis desdobramentos seria interessante replicar pesquisas como esta em outras disciplinas como a Física, que assim como a química possui uma variedade de conceitos “invisíveis”. Voltando para a área de química seria positivo, como um reforço para esta pesquisa, replicar o Método aqui proposto em contextos diferenciados, como em horários diferentes e em instituições particulares.

Referências Bibliográficas

- In T. M. Duffy and D. H. Jonassen (Eds.) *Constructivism and the technology of instruction: a conversation*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 17-35.
- . Disponível em: < http://www.brooklynmuseum.org/exhibitions/egypt_through_other_eyes/ >. Acesso em: 15/jul/2010.
- AINSWORTH, S. **How do animations influence learning?** In press Robinson & Schraw (eds) *Current Perspectives on Cognition, Learning, and Instruction: Recent Innovations in Educational Technology that Facilitate Student Learning.*, p. p.37-67, 2008.
- AINSWORTH, S.; VAN LABEKE, N. **Multiple forms of dynamic representation.** *Learning and Instruction*, v. 14(3), p. p.241-255, 2004.
- AL-SHAMMARI, A. G. **Animated Image Mechanisms (AIM) for Enhancing the Learning of Organic Reaction Mechanisms.** *Applications of Information and Communication Technology in Education and Training*, 2010.
- ANGLIN, G. J.; VAEZ, H.; L., C. K. **Visual Representations and Learning: The Role of Static and Animated Graphics.** *Visual and Learning*, p. p. 865-916, 2004.
- AYRES, P.; PAAS, F. **Can the cognitive load approach make instructional animations more effective?** *Applied Cognitive Psychology*, v. 21, n. 6, p. 811-820, 2007.
Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-34848926307&partnerID=40&md5=8d2fab37b496122fa2a60cb8d619d8b> >.
- BALABAN, A. T. **Visual Chemistry: Three-Dimensional Perception of Chemical Structures.** *Journal of Science Education and Technology*, v. Vol. 8, n. No. 4, p. 251 - 255, 1999.
- BARAK, M.; ASHKAR, T.; DORI, Y. J. **Learning Science via Animated movies: Its Effect on Students' Thinking and Motivation.** *Computers & Education* (2010), doi: 10.1016/j.compedu.2010.10.025, 2010.
- BARBOSA, L. C. D. A. **Introdução à Química Orgânica.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004a.
- _____. **Introdução à Química Orgânica.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004b.
- BARNEA, N.; DORI, Y. J. **Computerized molecular modeling - The new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners.** *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, v. Vol.1, n. No. 1, p. 109-120, 2000.
- BARUQUE, L. B.; MELO, R. N. **Learning Theory and Instructional Design Using Learning Object.** *Association for the Advancement of Computing in Education*, p. p. 5-12, 2003.

- BEDNAR, A. K. et al. **Theory into Practice: How Do We Link?** in: Anglin, G. (Ed.) (1995) *Instructional Technology: Past Present and Future*. (2nd ed.) Englewood, CO: Libraries Unlimited., p. pp. 100-112, 1995.
- BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**. 4.ed. São Paulo: Perason Prentice Hall, 2006.
- BUCKLEY, J.; EXTON, C. **Bloom's Taxonomy: A Framework for Assessing Programmers' Knowledge of Software Systems**. 11th IEEE International Workshop on Program Comprehension (IWPC'03), 2003.
- BURTON, J. K.; MOORE, D. M.; MAGLIARO, S. G. **Behaviorism and Instructional Technology**. In D.H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology*, p. p. 46-73, 1996.
- CAMPOS, F. C.; ROCHA, A. R.; CAMPOS, G. H. **Design Instrucional e Construtivismo: Em busca de modelos para o desenvolvimento de software**. IV Congresso RIBIE, Brasília, 1998.
- CAREY, L.; CAREY, J.; DICK, W. **The Sistematic Design of Instruction**. New York: 2001.
- CARLSON, R.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. **Learning and Understanding Science Instructional Material**. *Journal of Educational Psychology*, v. 95, n. 3, p. 629-640, 2003. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0141819224&partnerID=40&md5=3bbb3b6ea9094d97e2246435a448ee7a> >.
- CARVALHO, I. et al. **Introdução à modelagem molecular de fármacos no curso experimental de química farmacêutica**. . Jornal SBQ: São Paulo, 2002.
- CHENG, P.; LOWE, R.; SCAIFE, M. **Diagrammatic Representations in Cognitive Science**. *Cognitive Science Approaches To Understanding Diagrammatic*, 1999.
- CHIZZOTI, A. **Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais**. 2. ed. São Paulo: Cortez Editora, 1995.
- CLARK, R. C.; LYONS, C. **Graphics for Learning: Proven Guidelines for Planning, Designing, and Evaluating Visuals in Training Materials**. San Francisco: Pfeiffer, 2004.
- COOLEY, M. **Architect or Bee?** London: Chatto & Windus, 1987.
- COOPER, P. A. **Paradigm Shifts in Design Instruction: From Behaviorism to Cognitivism to Constructivism**. *Educational Technology Research and Development*, v. Vol. 33, p. pág. 12-10, 1993.
- CORTELLA, M. S. **A Escola e o conhecimento: fundamentos epistemológicos e políticos**. 2.ed. São Paulo: Cortez Editora, 1999.
- DALLACOSTA, A.; FERNANDES, A. M. D. C.; BASTOS, R. C. **Desenvolvimento de um software educacional para o ensino de química relativo à tabela periódica**. IV Congresso RIBIE, Brasília, 1998.

- DE JONG, T. **Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought**. Instructional Science, v. 38, n. 2, p. 105-134, 2010. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77952098191&partnerID=40&md5=8273a96baad2e03333f069d78ee3a5c9> >.
- DE KONING, B. B. et al. **Attention cueing in an instructional animation: The role of presentation speed**. Computers in Human Behavior, 2010. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77952649564&partnerID=40&md5=82ec6aeefae960241a690c89c322aa40> >.
- DERVIN, B. **Chaos, order, and Sense-Making: A proposed theory for information design**. In B. Dervin & L. Foreman-Wernet (with E. Lauterbach) (Eds.). **Sense-Making Methodology reader: Selected writings of Brenda Dervin**. Cresskill, NJ: Hampton Press, 2003.
- DUEBEL, P. **An Investigation of Behaviorist and Cognitive Approaches to Instructional Multimedia Design**. Journal of Education Multimedia and Hypermedia, v. 12(1), p. p. 63-90, 2003.
- ERTMER, P.; NEWBY, T. **Behaviorism, Cognitivism, Construtivism: Comparing Critical Features from an Instructional Design Perspective**. Performance Improvement Quartely, v. 6(4), p. p. 50-72, 1993.
- FADDE, P. J. **Instructional design for advanced learners: Training recognition skills to hasten expertise**. Educational Technology Research and Development, v. 57, n. 3, p. 359-376, 2009. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-67650070020&partnerID=40&md5=8d3f855073122f0725e0615669a6523f> >.
- FERNANDES, F. M. S. S. **Química computacional: Uma seta na direcção do século XXI**. Cadernos Didácticos de Ciência, v. Vol.I, p. p.55-74, 2001.
- FILATRO, A.; PICONEZ, S. C. **Design Instrucional Contextualizado**. Abril/2004.
- FREINET, C. **Pedagogia do Bom Senso**. São Paulo: Martins Fontes, 1985.
- FRIEDMAN, K. **Theory construction in design research: criteria: approaches, and methods**. Design Studies, v. vol 24, p. 507 - 522, 2003.
- FRY, B. J. **Organic Information Design**. 1997. 97 (minor in Computer Science). Media Arts ans Sciences, Carnegie Mellon University, Massachusetts.
- GIBIN, G. B. F., LUIZ HENRIQUE. **Investigação de Modelos Mentais Dinâmicos Sobre a Dissolução de NaCl por Meio da Elaboração de Animações**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2000.
- GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009.
- GILBERT, J. K. **The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction**. Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, v. Volume 11, n. issue 1, 2010.

- GIORDAN, M.; GÓIS, J. **Telemática Educacional e Ensino de Química: Considerações em torno do desenvolvimento de um construtor de objetos moleculares**. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, Badajoz, v. Vol.3 nº: 2, p. p.41-59, 2005.
- GÓIS, J.; GIORDAN, M. **Wittgenstein e os processos de significação no ensino de ciências**. VII Enec - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências., 2009.
- GRABOWSKI, J. **Projecting Computer Generated 3D Molecular Images in a Chemistry Lecture Hall**. Confchem, Winter, 2005.
- GROSOFF, M. S.; SARDY, H. **A Research Primer for the Social and Behavioral Sciences**. Orlando: Academic Press, 1985.
- GROSSMAN, R. B. **The Art of Writing Reasonable Organic Reaction Mechanisms**. 2.ed. Lexington: Springer, 1964.
- HEGARTY, M. **Dynamic visualizations and learning: getting to the difficult questions**. learning and Instruction 14, p. p.343-351, 2004.
- HESSEN, J. **Teoria do Conhecimento**. 2ª ed. São Paulo: Martin Fontes, 2003.
- HÖFFLER, T. N.; LEUTMER, D. **Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis**. Learning and Instruction 17, p. p. 722-738, 2007.
- _____. **The Role of Spatial Ability in Learning from Instructional Animations - Evidence for an Ability-as-compensator Hypothesis**. Computer in Human Behavior (2010), doi:10.1016/j.chb.2010.07.042, 2010.
- HOFFMAN, R.; LASZLO, P. **Representation in chemistry**. Angewandte Chemie, n. nº 30, p. p.1-16, 1991.
- HORN, R. E. **Visual language: global communication for the 21st century**. Bainbridge Island, WA: MacroVU®, Inc., 1998.
- JACOBSON, R. E. **Information Design**. London: MIT Press, 1999.
- JENNINGS, K. T. W., GABRIELA C. **Use of a multimedia DVD for Physical Chemistry: analysis of its effectiveness for teaching content and applications to current research and its impact on student views of physical chemistry**. Chemistry Education Research and Practice, v. 8 (3), p. 308 - 326, 2007.
- JOHNSON, C. I.; MAYER, R. E. **A Testing Effect With Multimedia Learning**. Journal of Educational Psychology, v. 101, n. 3, p. 621-629, 2009. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-67949096058&partnerID=40&md5=5745a8bc6c86f13dcb7da80ee9c04775> >.
- JONASSEN, D. H. **Objectivism versus Constructivism: Do We Need a New Philosophical Paradigm?** Educational Technology Research and Development, v. Vol. 39, p. págs. 5-14, 1991.

- KARAGIORGI, Y.; SYMEOU, L. **Translating Construtivism onto Instructional Design: Potential and Limitations**. Educational Technology & Society, v. vol. 8, p. p. 17-27, 2005.
- KONING, B. D. **Attention Cueing in an Instructional Animation**. Rotterdam: Optima Grafiche Communicate, 2009.
- LEWALTER, D. **Cognitive Stratagies for Learning from Static and Dynamic Visuals**. Learning and Instruction 13, p. p. 177-189, 2003.
- LIN, H.; TSUIPING, C.; DWYER, F. M. **Effects of Static Visuals and Computer-Generated Animations in Facilitating Immediate and Delayed Achivement in tge EFL Classroom**. Foreign Language Annals; Summer 2006; 39, 2; Education Module, p. p/ 203-219, 2006.
- LIN, L.; ATKINSON, R. K. **Using Animations and Visual Cueing to Support Learning of Scientific Concepts and Processes**. Computer & Education (2010), doi: 10.1016/j.compedu.2010.10.007, 2010.
- LIN, L. A., ROBERT K. **Using Animations and Visual Cueing to Support Learning of Scientific Concepts and Processes**. Computer & Education, 2010.
- LOWE, R. **Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics**. learning and Instruction 13, p. p.157-176, 2003.
- LOWE, R.; SCHNOTZ, W. Learning with Animation; Research implications for Design. In: PRESS, C. U. (Ed.). Cambridge, 2007. p.p.304-356.
- LOWE, R.; SCHNOTZ, W.; RASCH, T. **Aligning Affordances of Graphics with Learning Task Requirements**. Appl. Cognit. Psychol. Published online in Wiley InterScience, 2010.
- MACHADO, M. D. S. R., JUAN; SUGAI, JULIET KIYOKO; BONORION, MARIA SANTOS REIS; ANTÔNIO, REGINA VASCONCELLOS; HEIDRICH, DENISE NOGUEIRA. **Bioquímica Através da Animação**. Extensio: Revista Eletrônica de Extensão. Florianópolis 2004.
- MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 1993.
- MAYER, R. E. **Multimedia Learning: Are we asking the right questions?** Educational Psychologist, v. 32(1), p. p.1-19, 1997.
- _____. **The Promisse of Multimedia Learning: Using the Same Intructional Design Methods Across Different Media**. Learning and Instruction 13, p. p. 125-139, 2003.
- MAYER, R. E. et al. **When static media promote active learning: Annotated illustrations versus narrated animations in multimedia instruction**. Journal of Experimental Psychology: Applied, v. 11, n. 4, p. 256-265, 2005. Disponível em: <

<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-30644477953&partnerID=40&md5=3fc3e019b5a8f77662796b46ccab4c06> >.

MAYER, R. E.; MORENO, R. **A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory**. Journal of Educational Psychology, v. 90, n. 2, p. 312-320, 1998. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0032396526&partnerID=40&md5=22d6ce2d91d3afd071f9cfba19272931> >.

_____. **Animation as an Aid to Multimedia Learning**. Educational Psychology Review, v. Vol.14, nº:1, 2002.

_____. **Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning**. Educationak Psychologist, 38(1), p. p.465-477, 2003.

MCCLOUD, S. **Desvendando os quadrinhos**. São Paulo: Makron Books, 1995.

MEDEIROS, M. D. A. **Simulações, Vídeos e Animações: Contribuições da Web para o Ensino de Química**. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química, 2010.

MELEIRO, A.; GIORDAN, M. **Hipermídia no Ensino de Modelos Atômicos**. Texto LAPEQ nº:09, 2003.

MERGEL, B. **Instructional Design & Learning Theory**. 1998. Disponível em: < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.135.5780&rep=rep1&type=pdf,%20> >. Acesso em: 16/11/2010.

MOLEND, M. **Historical and Philosophical Foundations of Instructional Design - A North-American View**. Submitted for publication in Dijkstra et al (eds.) Instructional Design:

International Perspectives. Copyright, Lawrence Erlbaum Associates, 1997., 1997.

MOORE-RUSSO, D.; VIGLIETTI, J. M. **Teachers' Reactions to Animations as Representations of Geometry instruction**. ZDM Mathematics Education, 2010.

MORENO, R.; MAYER, R. E. **Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity**. Journal of Educational Psychology, v. 91, n. 2, p. 358-368, 1999. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0033137475&partnerID=40&md5=601f1315d2345db81f649330990f2f77> >.

MORGAN, M. E. **Technology and Bloom's Taxonomy: Tools to Facilitate Higher-Level Learning in Chemistry**. 1997. 288 (Doctor of Philosophy in Chemistry). Philosophy, Montana State University, BOzeman, Montana.

NARDIN, C. S.; LOGUERCIO, R. D. Q.; PINO, J. C. **Uma abordagem de Ensino de Reações Químicas entre Compostos Inorgânicos Referenciada em Mecanismos de Reação**. Tecno-lóg. Santa Cruz do Sul, v. v.8, p. p.09-24, 2004.

OKE, O. K.; ALAM, G. M. **Comparative evaluation of the effectiveness of 2 and 3D visualizations in students' understanding of structures of organic molecules**. International Journal of the Physical Sciences, v. 5, p. 605-611, 2010.

- PAAS, F.; VAN GERVEN, P. W. M.; WOUTERS, P. **Instructional efficiency of animation: Effects of interactivity through mental reconstruction of static key frames.** Applied Cognitive Psychology, v. 21, n. 6, p. 783-793, 2007. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-34848889576&partnerID=40&md5=4b665abc67d237187b6272be8f6ef044> >.
- PASSOS, R.; MOURA, M. **Design da Informação na Hipermissão.** InfoDesign Revista Brasileira de Design da Informação 4 - 2, p. 19-27, 2007.
- PASTORIZA, B. D. S. R., ALESSANDRA FAEDRICH; ARAUJO, MARA BERTRAND; AMARAL, SUZANA TRINDADE; SALGADO, TÂNIA DENISE M., PINO, JOSÉ CLÁUDIO. **Um Objeto de Aprendizagem para o Ensino de Química Geral.** Novas Tecnologias na Educação, v. 5, n. 2, 2007.
- PEKDAĞ, B. L. **Alternative Methods in Learning Chemistry: Learning with Animation, Simulation, Video and Multimedia.** Journal of Turkish Science Education, v. Vol. 7, n. n. 2, p. 79-110, 2010.
- REIGELUTH, C. M.; CARR-CHELLMAN, A. A. **Instructional-Design Theories and Models Volume III: Building a Common Knowledge Base.** New York and London: Taylor and Francis, Publishers, 2009.
- REIJNEVELD, K. et al. **Measuring the emotions elicited by office chairs.** 2003 international conference on designing pleasurable products and interfaces – Pittsburgh, p. p. 6-10, 2003.
- REISKA, P. **The Importance of Animations as a Visual Method in Learning Chemistry.** Concept Maps: Making Learning Meaningfull, p. 419-427, 2010.
- REYNOLDS, W. M.; MILLER, G. E. **Handbook of Psychology.** Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- RIBEIRO, A. A.; GRECA, I. M. **Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação de química: Uma revisão de literatura publicada.** Química NOva, v. Vol. 26, n. No. 4, p. 542-549, 2003.
- SHEDROFF, N. **Information Interaction Design: A Unified Field Theory of Design.** San Francisco, 1994. Disponível em: < <http://www.vivid.com/form/unified/unified.html> >. Acesso em: 15.dezembro.2010.
- SMITH, P. L.; RAGAN, T. J. **Instructional Design.** Secont Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- SOLOMONS, T. W. **Organic Chemistry.** 5. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- SOLOMONS, T. W.; FRYHLE, C. B. **Química Orgânica 1.** Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- STREITWEIESER JR., A.; HEATHCOCK, C. H. **Introduction to Organic Chemistry.** 2.ed. London: Collier Macmillan Publishers, 1981.

- SWELLER, J. et al. **Cognitive Architecture and instructional Design**. Educational Psychology Review, v. Vol. 10, p. p. 251 - 296, 1998.
- SWELLER, J.; MERRIENBOER, J. J.; PAAS, F. G. **Cognitive Architecture and Instructional Design**. VII Enec - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências., v. Vol.10 nº:3, p. p.251-296, 1998.
- TAM, M. **Constructivism, Instructional Design, and Technology: Implications for Transforming Distance Learning**. Educational Technology & Society, v. vol. 3, p. p. 50 - 60, 2000.
- TASKER, R. D., REBECCA. **Research into Practice: Visualisation of the Molecular World Using Animations**. Chemistry Education Research and Practice, v. 7, n. 2, p. 141-159, 2006.
- TOPLIS, R. **Probing student teachers' subject content knowledge in chemistry: case studies using dynamic computer models**. Chemistry Education Research and Practice, n. 28th, 2007.
- TRIVIÑOS, A. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.
- TVERSKY, B.; MORRISON, J. B.; BETRACOURT, M. **Animation: can it facilitate?** Int. J. Human-Computer Studies, p. p.247-262, 2002.
- TWYMAN, M. L. "A schema for the study of graphic language" in Processing of visible language, editado por Paul A. Kolers, Merald E. Wrolstad & Herman Bouma. In: (Ed.). Nova York & Londres: Plenum Press, v.vol.1, 1979.
- VAN GOG, T. et al. **Instructional design for advanced learners: Establishing connections between the theoretical frameworks of cognitive load and deliberate practice**. Educational Technology Research and Development, v. 53, n. 3, p. 73-81, 2005. Disponível em: < <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-23744475019&partnerID=40&md5=e006fba5d69981d7897cee45f98b6b1d> >.
- VERMAAT, H.; KRAMERS-PALS, H.; SCHANK, P. **The use of animations in chemical education**. In Proceedings of the International Convention of the Association for Educational Communications and Technology, p. p.430-441, 2003.
- WEISS, R. E.; KNOWLTON, D. S.; MORRISNO, G. R. **Principles for using animation in computerbased instruction: theoretical heuristics for effective design**. Computers in Human Behavior 18, p. p.456-477, 2002.
- WILLIAMS, C. M. **Learning From Pictures**. 2 ed. Washington: 1968.
- WU, H. K.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. **Using Technology to Support the Development of Conceptual Understanding of Chemical Representations**. National Association for Research in Science Teaching, annual meeting, spring 2000.
- WURMAN, R. **Ansiedade da Informação 2**. São Paulo: Cultura, 2005.

YOKAICHIYA, D. K. G., EDUARDO. **Radicais Livres de Oxigênio: Um software Introdotório**. Química Nova, 23(2), p. 267 - 269, 2000.

ZARE, R. N. **Visualizing Chemistry**. Journal of Chemical Education, v. 79, n. 11, p. 1290-1291, 2002.

Apêndices

APÊNDICE I

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você, aluno de graduação em Química da Universidade Federal do Paraná, está sendo convidado a participar de uma pesquisa intitulada “*Um estudo comparativo entre materiais didáticos estáticos e dinâmicos voltados ao aprendizado de mecanismos de reações químicas: uma abordagem do design da informação*”. É através das pesquisas como esta que ocorrem os avanços importantes em todas as áreas, e sua participação é fundamental.

- a) O objetivo desta pesquisa é comparar dois tipos de materiais didáticos, um estático e um dinâmico, para o ensino de mecanismos de reações químicas.
- b) Caso você participe da pesquisa, será necessário desenvolver as atividades solicitadas em sala de aula, entre elas - resolver exercícios propostos e responder a um questionário e uma pequena avaliação.
- c) O pesquisador Tiago de Lima Oliveira poderá ser contatado para esclarecer eventuais dúvidas a respeito desta pesquisa através do email: etsete@gmail.com.
- d) Estão garantidas todas as informações que você queira, antes durante e depois do estudo.
- e) A sua participação neste estudo é voluntária. Contudo, se você não quiser mais fazer parte da pesquisa poderá solicitar de volta o termo de consentimento livre esclarecido assinado.
- f) As informações relacionadas ao estudo poderão ser inspecionadas pelo pesquisador, pelo orientador e pelo professor da disciplina em questão. No entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a **confidencialidade** seja mantida.
- g) Todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa não são da sua responsabilidade.
- h) Pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro.

Eu, _____ li o texto acima e compreendi a natureza e objetivo do estudo do qual fui convidado a participar. Eu concordo voluntariamente em participar deste estudo.

(Assinatura)

Curitiba, _____ de abril de 2011

Email: _____

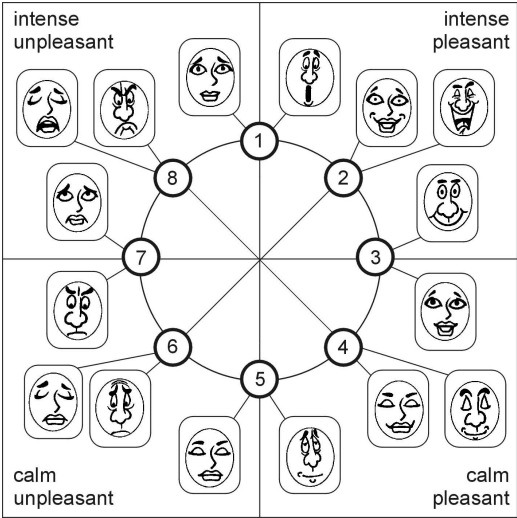
Telefone para contato: _____

(Pesquisador)

Tiago de Lima Oliveira

APÊNDICE II

Etapa 1.1 - Observação (Autor)

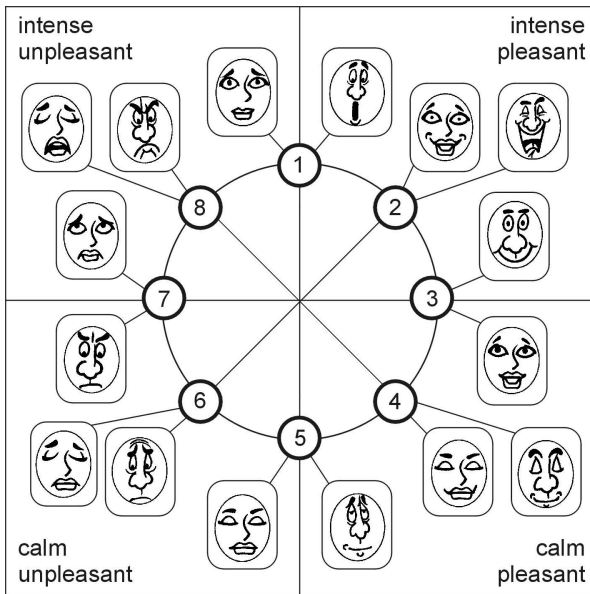


Ocorrências/observações:

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

APÊNDICE III

Etapa 1.2 - Observação (Professor)



Indique, de acordo com o modelo ao lado, qual foi a reação, de modo geral, que os alunos tiveram ao serem apresentados ao material de apoio estático.

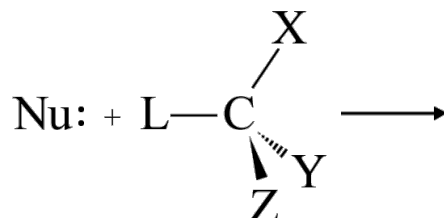
Ocorrências/obsevações:

APÊNDICE IV

Etapa 2.0 - Exercício Grupo de Controle

Desenhe os dois mecanismos possíveis para a reação abaixo (Sn1 e Sn2) mostrando claramente as movimentações dos elétrons e as estruturas dos estados de transição e dos produtos.

(Nu = nucleófilo e L = grupo abandonador ou retirante).



APÊNDICE V

Etapa 3.0 - Prova

Primeira Questão:

Considere a reação do (R) -3- metil-3-hexanol com HCl concentrado produzindo o cloreto de alquila correspondente. a) Escreva a equação da reação; b) **Desenhe o mecanismo**; c) O produto é ópticamente ativo? Explique.

Segunda Questão:

Considere a reação do álcool (S)-2-bromobutano com NaOH. a) Escreva a equação da reação; b) **Desenhe o mecanismo**; c) O produto é ópticamente ativo? Explique.

APÊNDICE VI**Etapa 4.1 - Questionário**

Nome:

Emprego (se tiver):

Quantas horas diárias em média você se dedica aos estudos:

Com base no quadro de emoções ao lado, identifique a figura que você acredita ser a que mais se aproxima da emoção sentida ao ser exposto à imagem/animação em sala de aula?

a) 1

b) 2

c) 3

d) 4

e) 5

f) 6

g) 7

h) 8

Na sua opinião o horário da aula influencia de alguma maneira o seu nível de atenção à aula? Porque?

Você achou o conteúdo de Mecanismos de Reações Químicas Orgânicas é complexo? S/N

A mídia (animação ou imagem) ajudou você a entender melhor os mecanismos?

S/N

Qual das fórmulas usadas nas imagens/animações foi mais eficaz para compreender o mecanismo e porque?

a) Fórmula de Cunha b) Modelo de Bola e Vareta

Porque:

Houve alguma dificuldade em compreender ou visualizar a animação/imagem? Se sim quais seriam? (podendo selecionar mais de uma opção)

- a) Eram muito complexas.
- b) Pouco contraste entre as cores usadas.
- c) O projetor usado era ruim prejudicando a visualização do material.
- d) Poucos elementos gráficos sendo usados para direcionar o olhar para pontos relevantes da imagem/ animação.
- e) Outro (s). Cite.

Qual você acredita ser a mídia mais eficaz para compreender/ensinar mecanismo de reações? Justifique.

- a) Textos
- b) Imagens
- c) Animações sem áudio
- d) Animações com narração “embutida”
- e) Animações explicadas pelo professor
- f) Outro:

Justifique:

APÊNDICE VII**Etapa 4.2 - Entrevista Professor**

1) Você já havia utilizado animações como material de apoio didático em sala de aula? S / N

2) Se sim, qual seu grau de familiaridade com essa tecnologia?

3) Você se se sentiu confortável usando esta tecnologia? Você se sentiu deslocado de alguma forma?
Houve alguma mudança na sua estratégia pedagógica?

4) Você acredita que uma animação seja um bom material de apoio para explicar mecanismo de reação?
Porque?

5) Qual é a opinião que o professor acredita que o aluno tenha sobre o uso de animações em sala de aula?

6) Relate os pontos negativos tanto da mídia dinâmica (animações).

APÊNDICE VIII

Resultados Exercício

GRUPO A - IMG							
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	0	1	2	2	0	2
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1	1	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	3	5	5	5	5	5
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	5	0	0	0
	Sub Total:	9	11	13	8	6	8
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	3	3	3	3	3	3
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1	1	0	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	3	5	5	5	5	5
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	10	10	10	6
	Sub Total:	17	18	19	19	18	15
	TOTAL (32)	26	29	32	27	24	23
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	0	2	1	2	
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1	1	1	
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	5	3	5	
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	5	5	3	
	Sub Total:	13	10	13	10	11	
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	1	2	3	0	3	
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	0	1	1	1	1	
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	3	0	5	5	5	
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	10	6	6	
	Sub Total:	14	13	19	12	16	
	TOTAL (32)	27	23	32	22	27	

GRUPO B - ANIM							
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	0	2	2	2	1
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1	1	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	3	3	5	5	5	5
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	3	0	0	5
	Sub Total:	11	9	11	8	8	12
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	1	1	3	0	3	1
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1	1	0	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	5	5	5	2
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	10	10	10	5
	Sub Total:	17	17	19	16	18	9
	TOTAL (32)	28	26	30	24	26	21
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2			
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	2	2			
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1			
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	0			
Estrutura do Produto Final	4 (5)	0	5	5			
	Sub Total:	8	13	8			
		Sn1	Sn1	Sn1			
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	2	3	1			
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1			
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	5			
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	10			
	Sub Total:	18	19	17			
	TOTAL (32)	26	32	25			

APÊNDICE VIV

Resultados Prova

GRUPO A - IMG							
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	2	2	0	2	1
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1	1	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	5	3	5	0
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	5	5	5	0
Sub Total:		13	13	8	9	13	2
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	3	3	2	0	3	0
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1	0	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	0	2	5	2
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	5	5	10	5
Sub Total:		19	19	8	7	19	8
TOTAL (32)		32	32	16	16	32	10
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	2	0	0	0	
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	0	1	0	
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	0	5	0	5	0	
Estrutura do Produto Final	4 (5)	2	5	0	5	0	
Sub Total:		5	13	0	11	0	
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	3	3	0	0	0	
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	0	0	0	
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	0	0	0	
Estrutura do Produto Final	4 (10)	0	10	0	0	0	
Sub Total:		9	18	0	0	0	
TOTAL (32)		14	31	0	11	0	
GRUPO B - ANIM							
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2	Sn2
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	2	1	0	2	1
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1	1	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	4	5	3	0	0	5
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	5	5	5	5
Sub Total:		12	12	10	6	8	12
		Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1	Sn1
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	2	2	3	0	0	1
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1	1	1	1
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	5	5	0	5	5
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	10	8	5	10	5
Sub Total:		18	17	17	6	16	12
TOTAL (32)		30	29	27	12	24	24
	Critério	Sn2	Sn2	Sn2			
Movimentação dos Elétrons	1 (2)	2	0	1			
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	1	1			
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	2	5			
Estrutura do Produto Final	4 (5)	5	5	5			
Sub Total:		13	8	12			
		Sn1	Sn1	Sn1			
Movimentação dos Elétrons	1 (3)	3	0	2			
Uso de colchetes p/ transição	2 (1)	1	0	1			
Estrutura do Estado de Transição	3 (5)	5	0	5			
Estrutura do Produto Final	4 (10)	10	5	10			
Sub Total:		19	5	18			
TOTAL (32)		32	13	30			